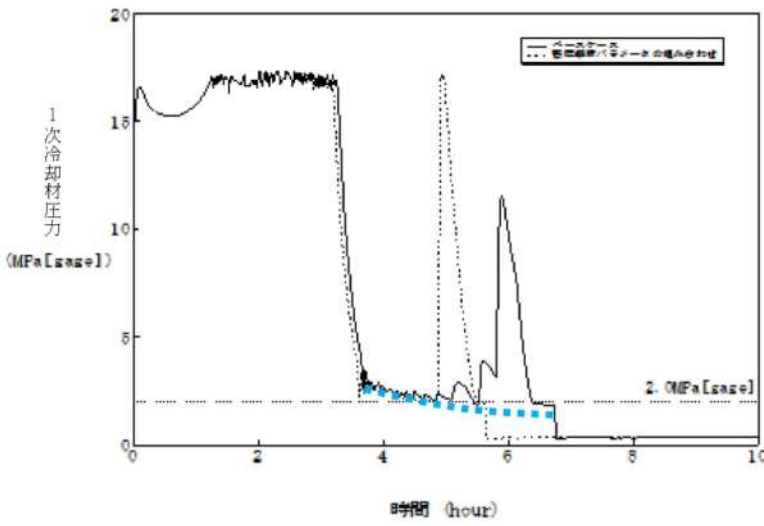


赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付1 高压溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p data-bbox="1294 746 1724 774">付図 2-3 蓄圧タンクの平衡圧力の確認計算結果</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

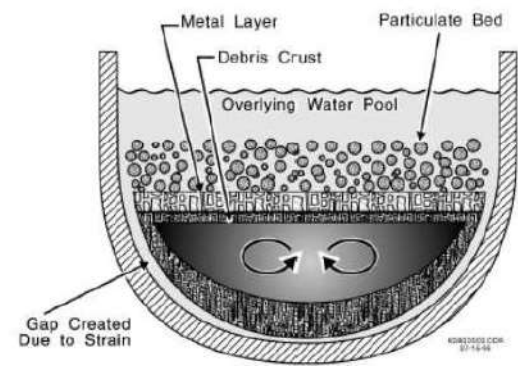
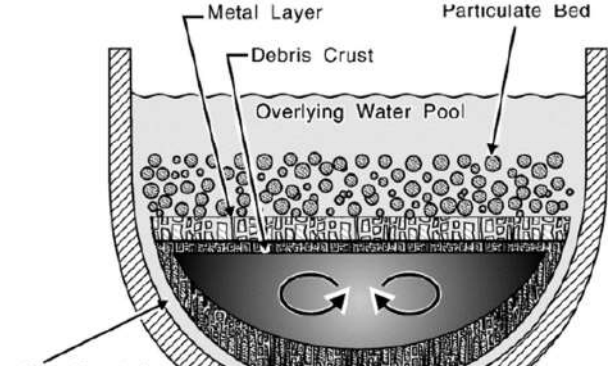
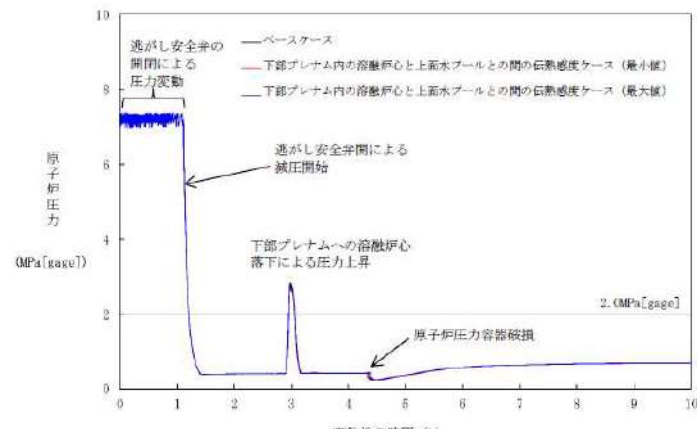
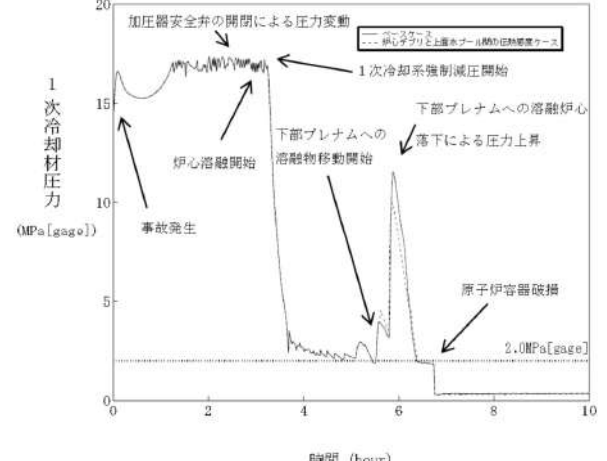
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付1 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="224 204 969 229">付録2 溶融炉心と上面水プールとの間の伝熱の感度解析条件に用いる係数の妥当性</p> <p data-bbox="159 272 387 298">(1) 感度係数の位置づけ</p> <p data-bbox="145 306 1048 365">本感度解析に使用した係数は、下部プレナムに落下した溶融デブリ表面の金属層と上面水プールへの限界熱流束の乗数である。</p> <p data-bbox="145 375 1048 569">付図 2-1 に、MAAPにおけるデブリベッドへの冷却材浸入による冷却の状態図を示す。MAAPパラメータ内で適用している本係数の下限値「0」は、金属層が水に対して不透過性であり、熱は金属層表面で対流又は熱伝導のみで水に伝わることを意味し、上限値「1」は水が金属層に浸入し、限界熱流束によって制限された速度で冷却され、かつ表面からも対流又は熱伝導で除熱されることを意味する。本係数を調整することにより、金属層への水の浸入に伴う熱伝達の不確かさの影響を確認することができる。</p> <p data-bbox="145 579 1048 807">MAAPパラメータでデフォルト値として使用している値は、金属層への水の浸入が少ない場合を想定して、下限としてグリムスヴォトン溶岩での実験^{[4]*1} で得られた除熱量を参考にした設定値 <input type="text"/>、上限としてMAAPの感度解析によりサーベイした、代表的な崩壊熱レベルの溶融デブリが冷却できる最小の除熱量に対応する設定値 <input type="text"/> を考慮し、その中間値 <input type="text"/> をデフォルト値としている。このとおり本係数は、不確かさを有するパラメータであるが、下記の感度解析にて示すとおり、デブリ冷却への影響は限定的であることから、推奨範囲の中間値をベースケース解析に用いることは妥当と考える。</p> <p data-bbox="165 817 741 842">※1：グリムスヴォトン溶岩 (Grimsvotn lava field) での実験</p> <p data-bbox="145 850 1048 944">グリムスヴォトン溶岩に広範囲にスプレイ散布することで、熱伝達のための除熱よりも早く溶岩が固化する現象が確認された。この実験ではスプレイ水の溶岩への浸入による除熱量（約 40kW/m²）が評価されている。</p> <p data-bbox="159 987 349 1013">(2) 感度係数の影響</p> <p data-bbox="145 1021 1048 1115">付図 2-2 に、係数を <input type="text"/>、<input type="text"/> の範囲で変化させた解析結果を示す。溶融炉心と上面水プールとの間の伝熱は、原子炉圧力容器の破損時間にほとんど影響を与えない結果となっている。このことから、推奨範囲の中間値 <input type="text"/> をベースケース解析において使用することは妥当と考える。</p> <div data-bbox="600 1358 1008 1426" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1120 204 1895 229">添付 1-3 溶融炉心と上面水プールとの間の伝熱の感度解析条件に用いる係数の妥当性</p> <p data-bbox="1061 272 1270 298">(1) 感度解析の位置づけ</p> <p data-bbox="1061 306 1964 365">原子炉容器破損時の 1 次冷却材圧力に係る感度解析で使用した係数は、原子炉容器下部プレナムのデブリベッドと上面水プールとの間の限界熱流束にかかる係数である。</p> <p data-bbox="1061 375 1964 536">付図 3-1 に MAAP で想定しているデブリベッドへの水浸入による冷却の状態を示す。この係数が「0」の場合、金属層への水浸入がないことを意味する。この場合、金属表面から水への熱伝達は、対流あるいは熱伝導のみ行われる。この係数が「1」の場合、水は金属層へ浸入し、限界熱流束で制御される速度で冷却される。これは、対流と熱伝導に追加された冷却モードである。本係数を調整することにより、水のデブリベッドへの浸入による不確かさを評価することができる。</p> <p data-bbox="1061 579 1964 673">MAAP コードのパラメータでデフォルト値として使用している値は、実験的に下限値とされる値と完全冷却に至る値との中間の値として、<input type="text"/> が設定されている。一方、下限値として設定される <input type="text"/> は、実験的に設定された値であり、上面水プールでは十分に冷却できない値である。</p> <p data-bbox="1061 987 1232 1013">(2) 感度解析の影響</p> <p data-bbox="1061 1021 1964 1115">図 3-2 にベースケースとして <input type="text"/> を、感度解析ケースとして <input type="text"/> を設定した解析結果を示す。その結果、原子炉容器下部プレナム内のデブリベッドと上面水プールとの間の限界熱流束の原子炉容器破損時刻に対する感度は小さく、その不確かさの影響はほとんどないと言える。</p> <div data-bbox="1592 1347 1910 1406" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1977 169 2112 263">※付録 1-3 は従来の PWR の公開文献から追加</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付1 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p>	 <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p>	
<p>付図 2-1 デブリベッドへの冷却材浸入による冷却</p>  <p>付図 2-2 原子炉圧力の時間変化</p>	<p>付図 3-1 デブリベッドへの水浸入による冷却モデル</p> <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p>  <p>付図 3-2 1次冷却材圧力の時間変化</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

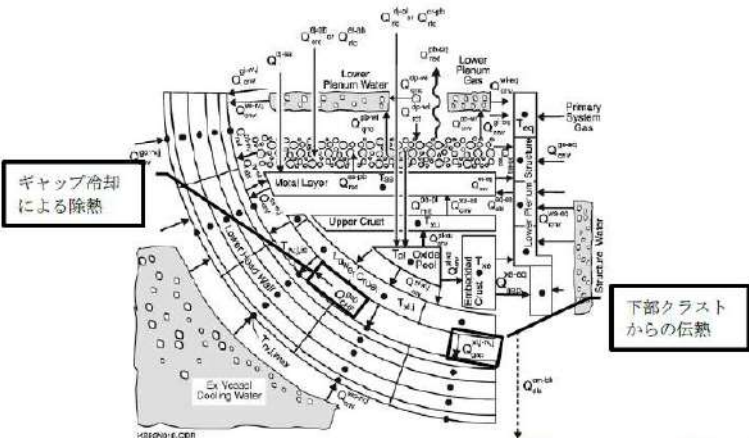
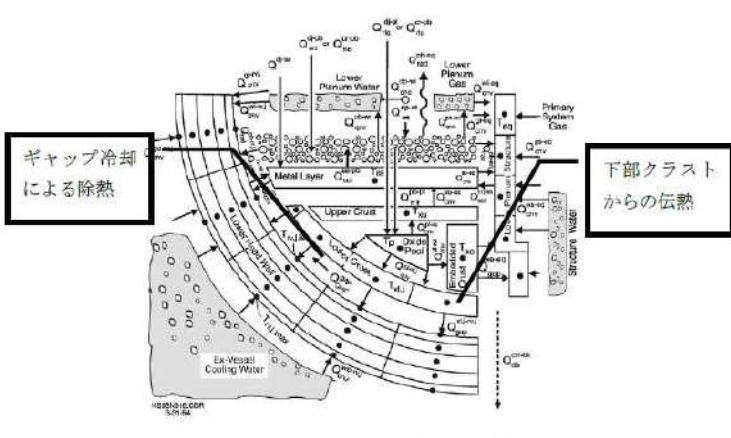
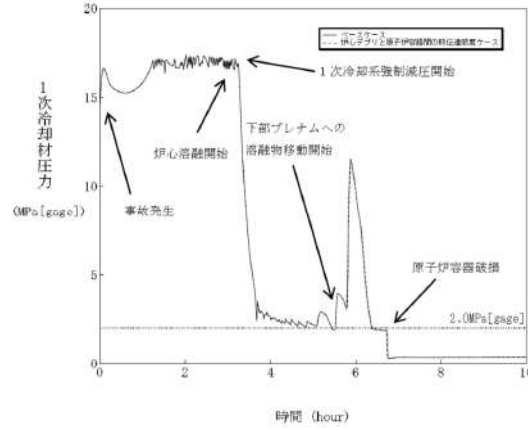
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付1 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="241 204 949 228">付録3 溶融デブリと原子炉圧力容器間の熱伝達におけるギャップ冷却について</p> <p data-bbox="165 272 636 296">付図3-1に下部プレナムでのエネルギー移行図を示す。</p> <p data-bbox="143 308 1048 432">MAAPでは、下部プレナムに落下した溶融デブリは溶融プールの外側にクラストが形成される。この、下部クラストと原子炉圧力容器内面にひずみが生じ、下部クラストと容器内面に生じたギャップに冷却材が流入することでクラスト表面及び原子炉圧力容器内面から除熱される「ギャップ冷却」が生じるというモデルになっている。</p> <p data-bbox="143 443 1048 671">付図3-1に示すとおり、MAAPでは、上述のギャップ冷却による除熱量と下部クラストから隣接流体への伝熱量を評価している。下部クラストから移行し、ギャップ冷却で取り除かれない伝熱量は、原子炉圧力容器内面への伝熱量として評価される。ギャップ冷却は、ギャップに浸入した水の沸騰時の限界熱流束により評価される。溶融デブリと原子炉圧力容器間のギャップに存在する水による除熱量と溶融デブリから原子炉圧力容器への伝熱量を比較すると、下部プレナムギャップの除熱量は、溶融デブリから原子炉容器への伝熱量に比べて非常に小さいことから、原子炉圧力容器温度の上昇が発生する。ドライアウト後、ギャップ冷却効果はゼロとなる。</p> <p data-bbox="143 716 1048 807">以上のことから、下部プレナムギャップの除熱量が溶融デブリと原子炉圧力容器間の熱伝達に与える感度は小さく、4.1(8)の感度解析にて示すとおり下部プレナムギャップの除熱量に係る係数が原子炉圧力容器表面の温度に与える影響は小さいといえる。</p>	<p data-bbox="1211 204 1807 228">添付1-4 溶融デブリと原子炉容器の熱伝達におけるギャップ冷却</p> <p data-bbox="1061 272 1270 296">(1)感度解析の位置付け</p> <p data-bbox="1061 308 1966 399">原子炉容器破損時の1次冷却材圧力に係る感度解析で使用した係数は、原子炉容器下部プレナムの下部クラストと原子炉容器下部ヘッドとの間のギャップ熱伝達にかかる係数である。付図4-1にMAAPコードで想定している下部プレナムでのエネルギー移行の状態を示す。</p> <p data-bbox="1061 443 1966 568">付図4-1に示すとおり、MAAPコードではギャップ冷却による除熱量と下部クラストから隣接流体への伝熱量を評価している。下部クラストからの伝熱量のうち、ギャップ冷却で除去されない伝熱量は、原子炉容器内面への伝熱量となる。この効果の不確かさを確認するために、ギャップ冷却に関する感度解析を実施している。</p> <p data-bbox="1061 579 1966 671">MAAPコードのパラメータでデフォルト値として使用している値は、ギャップによる除熱量の評価式をそのまま適用するための値として、<input type="text"/>が設定されている。一方、溶融炉心と下部プレナムが接触している状態を模擬するための設定として、<input type="text"/>とした評価を実施する。</p> <p data-bbox="1061 716 1232 740">(2)感度解析の影響</p> <p data-bbox="1061 751 1966 842">付図4-2にベースケースとして<input type="text"/>を、感度解析ケースとして<input type="text"/>を設定した解析結果を示す。その結果、原子炉容器下部プレナム内の下部クラストと原子炉容器下部ヘッドとの間のギャップ伝熱量の原子炉容器破損時刻に対する感度は小さく、その不確かさの影響はほとんどないと言える。</p> <div data-bbox="1576 1358 1890 1426" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1977 172 2112 263">※付録1-4は従来のPWRの公開文献から追加</p>

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付1 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p>	 <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p>	
<p>付図 3-1 下部プレナムでのエネルギー移行図</p>	<p>付図 4-1 下部プレナムでのエネルギー移行モデル</p>	
	 <p>付図 4-2 1次冷却材圧力の時間変化</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付1 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の防止について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>参考文献</p> <p>[1] R.O.Gauntt and L.L. Humphries, "Final Results of the XR2-1 BWR Metallic MeltRelocation Experiment", NUREG/CR-6527, Aug. 1997.</p> <p>[2] 日本原子力学会 熱流動部会 編, 気液二相流の数値解析, 朝倉書店, 1993 年</p> <p>[3] R. E. Henry and H. K. Fauske, "The Two-Phase Critical Flow of One-ComponentMixtures in Nozzles, Orifices and Short Tubes," J. Heat Transfer, Trans. ASME, 1971.</p> <p>[4] Uncertainty Working Group of the MAAP User' s Group, "MAAP4 UNCERTAINTY ANDSENSITIVITY ANALYSES"</p> <p>[5] K. Kang, et, al,. Experimental Investigations on In-Vessel Corium Retentionthrough Inherent Gap Cooling Mechanisms, Journal of Nuclear Science andTechnology, 2006.</p> <p>[6] JAERI-M 84-055 「炉心損傷事故解析及び研究の現状 一炉心損傷事故調査解析タスクフォース報告書一」1984 年 3 月</p> <p>[7] N. K. Tutu, et al., "Low Pressure Cutoff for Melt Dispersal from ReactorCavities", Fourth Proceedings of Nuclear Thermal Hydraulics, ANS Meeting, October 30 . November 4, 1988.</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由
	添付2		添付2	
	熔融炉心と冷却材の相互作用について		熔融炉心と冷却材の相互作用について	
1.	まえがき	1.	まえがき	
2.	現象の概要	2.	現象の概要	
3.	これまでの知見の整理	3.	これまでの知見の整理	
4.	不確かさに関する整理	4.	不確かさに関する整理	
5.	感度解析と評価	5.	感度解析と評価	
6.	まとめ	6.	まとめ	
付録1	FARO実験によるMAAPの圧力スパイクモデル妥当性確認	添付2-1	FARO実験におけるMAAPの圧力スパイクモデルの妥当性確認	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>1. まえがき</p> <p>溶融炉心と冷却材の相互作用（FCI：Fuel-Coolant Interaction、以下「FCI」という。）に関しては、国内外において現象の解明や評価に関する多くの活動が行われてきている。しかしながら、現在においてもその現象の解明は研究段階にあり、現象全体の十分な理解には至っていない。また、多くのFCI実験が行われているものの、実機規模での現象については、有効なデータが十分には得られていないといえる。このようなことから、国内外で実施された実験結果の知見から解析モデルに関する不確かさを検討し、これを基にした感度解析により有効性評価への影響を確認する。</p>	<p>1 まえがき</p> <p>溶融炉心と冷却水の相互作用（FCI：Fuel-Coolant Interaction、以下、「FCI」と称す。）に関しては、国内外において現象の解明や評価に関する多くの活動が行われてきているが、現在においても研究段階にあり、また、実機規模での現象についてほとんど経験がなく、有効なデータが得られていないのが現状であり、不確かさが大きい現象であると言える。</p> <p>そこで、国内外で実施された実験等による知見を整理するとともに、解析モデルに関する不確かさの整理を行い、感度解析により有効性評価への影響を確認した。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2. 現象の概要</p> <p>溶融炉心と冷却材が接触して一時的な圧力の急上昇が生じる可能性がある。このときに発生するエネルギーが大きいと構造物が破壊され原子炉格納容器が破損する可能性がある。溶融炉心と冷却材との接触及びそれに伴って引き起こされる現象のことを”溶融炉心と冷却材の相互作用（FCI）”と呼ぶ。また、FCIのうち衝撃波を伴うものを”水蒸気爆発”と呼び、冷却材への伝熱による水蒸気発生に伴う圧力変化を”圧カスパイク”と呼ぶ。さらに、原子炉圧力容器の下部プレナムで発生するFCIを原子炉圧力容器内FCIと呼び、格納容器下部で発生するFCIを原子炉圧力容器外FCIと呼ぶ。</p> <p>これまでの研究では、水蒸気爆発現象を以下のような段階的な過程によって説明するモデルが提唱されている。</p> <p>① 炉心あるいは原子炉圧力容器から落下する溶融炉心（デブリジェット）が冷却材中に落下する。水と接触した溶融炉心は、その界面の不安定性により細粒化して水中に分散する（エントレイン）。細粒化した溶融炉心（以下「デブリ粒子」という。）は、蒸気膜に覆われた状態で膜沸騰を伴う水との混合状態となる（粗混合）。</p> <p>② さらに、自発的若しくは外部からの圧力パルス等の外乱により、膜沸騰が不安定化し（トリガリング）、デブリ粒子と冷却材が直接接触する。</p> <p>③ デブリ粒子と冷却材の直接接触により、急速な熱の移動が発生し、急速な蒸気発生・溶融炉心の微細化により、さらにデブリ粒子と冷却材の接触を促進し（伝播）、蒸気発生を促進する。この蒸気発生により圧力波が発生する。</p> <p>④ 発生した圧力波が通過した後の高温高圧領域（元々は粗混合領域）の膨張により運動エネルギーが発生し、構造物を破壊する要因となる。</p> <p>水蒸気爆発が発生するためには、トリガリングが働く必要があり、さらにデブリ粒子と冷却材の接触が瞬時に粗混合領域全体に伝播する必要がある。水蒸気爆発に至らない場合でも、急速な蒸気発生による圧力上昇（圧カスパイク）が発生する。</p>	<p>2 現象の概要</p> <p>溶融炉心と冷却水が接触することによる急激な水蒸気の生成において、溶融炉心の熱エネルギーが機械的エネルギーに変換されて原子炉格納容器破損に至る可能性がある。このような現象、即ち、溶融炉心と冷却水との接触及びそれに伴って引き起こされる現象のことを”FCI”と呼ぶ。また、FCIのうち衝撃波を伴うものを”水蒸気爆発”と呼び、水蒸気爆発に至らない圧力変化を”圧カスパイク”と呼ぶ。さらに、溶融炉心と冷却水の接触は、原子炉容器の下部プレナムと原子炉下部キャビティで発生する可能性があり、雰囲気圧力や冷却水の状態が異なることから両者を区別して取り扱い、前者を原子炉容器内FCI、後者を原子炉容器外FCIとする。</p> <p>炉心あるいは下部プレナムから落下する溶融炉心（デブリジェット）が、水プールに接触する際の液-液混合に伴って、溶融炉心が細粒化して水中に分散する（エントレイン）。細粒化した溶融炉心（以下、「デブリ粒子」と称す。）は、膜沸騰及び輻射熱伝達により水と伝熱しており、デブリ粒子は蒸気膜に覆われた状態である。ここで、蒸気膜へ何らかの外乱（トリガリング）が加わり蒸気膜が崩壊すると、デブリ粒子が冷却水と直接接触することで急激な水蒸気発生が起こり、これが近傍のデブリ粒子に対する新たなトリガリングとなり蒸気膜を崩壊させ、この現象が瞬時に伝ば及び拡大することで、衝撃波を伴った水蒸気爆発に至ると考えられている。また、水蒸気爆発に至らない場合でも、発生した水蒸気により急激な圧力上昇（圧カスパイク）が発生する。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. これまでの知見の整理</p> <p>原子炉圧力容器内水蒸気爆発による格納容器破損はαモード破損と呼ばれ、WASH-1400^[1]でそのリスクが提起されたことを機に多くの調査、研究が続けられてきた。この現象は、熔融炉心が原子炉圧力容器下部の水中に落下して水蒸気爆発が発生し、それによる水塊がミサイルとなって原子炉内構造物を破壊し、原子炉圧力容器上蓋に衝突することで上蓋がミサイルとなって原子炉格納容器に衝突し破損に至るものである。水蒸気爆発については、国際的な専門家会議による結論がまとめられており、特にBWRの原子炉圧力容器内水蒸気爆発によるαモード破損については、格納容器破損の脅威とはならないとされている。表3-1にBWRの原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する専門家会議の見解をまとめる。また、原子炉圧力容器内FCIの圧力スパイクについても、原子炉圧力容器内の圧力上昇のため、格納容器破損の直接的な脅威とはならない。</p> <p>一方、原子炉圧力容器外FCIについては、緩和策による注水によって形成された格納容器下部の水中に熔融炉心が落下するため、原子炉圧力容器内の下部プレナム水に比較して、サブクール度が大きくなり、水蒸気爆発が発生し易い可能性がある。また、原子炉圧力容器外FCIの圧力スパイクは、原子炉格納容器内の圧力を直接上昇させるため、格納容器破損の評価対象となる。</p> <p>以上より、原子炉圧力容器内FCIは格納容器破損の脅威とは考えられないため、原子炉圧力容器外FCIの観点から、国内外で実施されたFCI実験の知見を以下にまとめる。</p> <p>3.1 FCI実験の概要</p> <p>過去に実施された代表的なFCIの実験研究として、(旧)日本原子力研究所で実施されたALPHA実験、JRC イスブラ研究所で実施されたKROTOS実験、FARO実験、(旧)原子力発電技術機構で実施されたCOTELS実験、韓国原子力研究所(KAERI)で実施されたTROI実験及びSERENA実験がある。これらの実験では模擬熔融物としてUO₂混合物を用いた実験とアルミナ等を用いた実験がある。以下では、各実験の概要とそこで得られた知見について整理する。</p> <p>(3) FARO実験</p> <p>FARO実験^{[4][6]}では、酸化コリウム及び金属Zrを含むコリウムが用いられ、多くの実験は高圧・飽和水条件で実施されているが、低圧・サブクール水条件の実験も実施されている。FARO実験装置の概要を図3-5に示す。表3-4にFARO実験の実験結果のまとめを示す。また、圧力変化の例としてL-14とL-19圧力挙動を図3-6に示す。FARO実験のいずれの実験ケースでも水蒸気爆発は発生して</p>	<p>3 これまでの知見の整理</p> <p>FCIについては、1975年の米国原子力規制委員会NRCの原子炉安全研究WASH-1400(NUREG75-014)において、原子炉容器内水蒸気爆発による原子炉格納容器破損が公衆へのリスクの大きな一因となることが指摘されたことを機に、現象の解明や評価に関する多くの活動が行われてきた。水蒸気爆発に関しては、水蒸気爆発専門家グループ(SERG: Steam Explosion Review Group)によるレビュー評価として纏められ、「圧力容器内水蒸気爆発はリスクの観点から無視できる」と結論付けられている。この結論は1997年のFCIに関する専門家会議においても、SERGの結論の変更は不要であることが確認されている。また、米国原子力規制委員会NRCは、原子炉容器内FCIから水蒸気爆発に至り原子炉格納容器が破損する事象(いわゆるαモード破損)については、これまでの専門家による検討結果では、発生する可能性は非常に低く、問題は解決済みと結論付けられている¹。また、原子炉容器内FCIから圧力スパイクに至る事象については、1次冷却材圧力を上昇させることはあるが、原子炉格納容器への直接的な脅威にはならない。</p> <p>¹ NRC, "A Reassessment of the Potential for an Alpha-Mode Containment Failure and Review of the Current Understanding of Broader Fuel-Coolant Interaction Issue", NUREG-1524</p> <p>一方、緩和策により注水された原子炉下部キャビティに熔融炉心が落下する場合のFCI(原子炉容器外FCI)は、原子炉容器内FCIが高圧かつ高温(低サブクール度)の条件下であることに対し、低圧かつ低温(高サブクール度)であり、定性的には水蒸気爆発が発生し易いと言われている。また、圧力スパイクの観点でも、水プールの容量が原子炉容器内よりも大きく、水蒸気の発生量自体も多くなる可能性がある。</p> <p>ここでは、原子炉容器外FCIに主眼をおいて、国内外で実施された実験等により得られた知見について整理する。</p> <p>3.1 FCI実験の概要</p> <p>FCI実験は、主として熔融物を水プールに落下させ、水プールとの混合の際に発生する諸現象について解明することを目的としたものであり、国内外の研究機関において、種々の実験研究が行われている。その中で、比較的大規模な実験として、欧州JRC(Joint Research Center)のイスブラ研究所のFARO実験、同じくイスブラ研究所のKROTOS実験、旧原子力研究所JAERIのALPHA実験、カザフスタン国立原子力センター(NNC: National Nuclear Center)の施設を用いたCOTELS実験が行われており、これらの実験について、その概要とそこで得られた知見について整理する。</p> <p>(1) FARO実験</p> <p>欧州JRC(Joint Research Center)のイスブラ研究所における実験であり、圧力容器内を対象に熔融物が水プールに落下した場合の水蒸気爆発の発生を調べることを目的として高圧条件での実験が行われてきたが、圧力容器外を対象とした低圧条件での実験も行われている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>いない。FARO 実験で得られた主な知見は以下である。</p> <ul style="list-style-type: none"> 高圧・飽和水実験、低圧・サブクール実験のいずれにおいても水蒸気爆発は発生していない。 高圧・飽和水の酸化物コリウム実験の場合は一部が粒子化し、一部はパンケーキ状でプール底部に堆積した。高圧・飽和水のコリウムに金属Zr成分を含んだ実験及び低圧・サブクール実験では全てのコリウムは粒子化した。 粒子の質量中央径は比較的大きかったが、実験条件（初期圧力、水深、コリウム落下速度、サブクール度）に依存していない。 Zr金属を含めた実験ケース（L-11）では、Zr金属の酸化により、Zr金属を含めない実験ケース（L-14）よりも圧力上昇が大きくなる。 <p>(2) KROTOS 実験</p> <p>KROTOS 実験^{[9][4][5]}では、FARO 実験が大型実験装置であるのに対して小型の実験装置であるが、低圧・サブクール水を主として実験を実施している（図 3-3）。KROTOS 実験の代表的実験（K37, K42）の圧力変化の例を図 3-4 に示す。KROTOS 実験では模擬コリウムとして UO₂ 混合物を用いた実験とアルミナを用いた実験を実施している。表 3-3 に KROTOS 実験の実験結果のまとめを示す。アルミナ実験では、サブクール度が大きい実験ケース（K38, K40, K42, K43, K49）では、外部トリガーなしで水蒸気爆発が発生しているが、サブクール度が小さい実験ケース（K41, K44, K50, K51）では、外部トリガーなしでは水蒸気爆発は発生していない。一方、UO₂ 混合物実験では、外部トリガーなしでは水蒸気爆発は発生していない。また、UO₂ 混合物実験でも外部トリガーありでは水蒸気爆発が発生している（K52, K53, K46）が、これらのケースはサブクール度が大きい実験ケースである。また、UO₂ 混合物実験の水蒸気爆発のエネルギー変換効率率は、アルミナ実験の水蒸気爆発に比較して低い結果となっている。アルミナ実験と UO₂ 混合物の相違については以下のように考察されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> アルミナはプール水面近傍でブレイクアップし、粗混合時に粒子が半径方向に広がり、水蒸気爆 	<p>実験装置の概要を図 3.1-1 に示す。実験手順は、高圧条件と低圧条件とで同様であり、るつぼ内で UO₂ 混合物（80wt%UO₂ + 20wt%ZrO₂ あるいは 77wt%UO₂ + 19wt%ZrO₂ + 4wt%Zr）を熔融させ、るつぼ底部のフラップを開放することにより、水プールに落下させる。実験条件は、表 3.1-1 に示すとおりであり、UO₂ 混合物は 18～176kg、水プールの水深は 0.87～2.05m、水プールのサブクール度は飽和～124K の範囲で変動させ複数のケースが行われている。また、高圧条件として 2～5.8MPa、低圧条件として 0.2～0.5MPa である。</p> <p>いずれの FARO 実験においても、高圧条件、低圧条件ともに、水蒸気爆発の発生は観測されなかったが、圧力スパイクは観測されている。典型的な圧力変化の例として、ケース L-14 の結果を図 3.1-2 に示す。熔融物の落下に伴う圧力上昇は、短時間（約 3 秒）で発生していることがわかる。</p> <p>熔融物の粒子化量については、水プールの状態によりその割合が変化している。原子炉容器内 FCI を模擬したケース（高圧条件かつ低サブクール度）では、水深 1m の場合で、熔融物の約半分が粒子化し、残りは熔融ジェットのまま水プール底に到達して堆積する結果となっている。一方、原子炉容器外 FCI を想定したケースとして、金属ジルコニウムを含む場合（L-11）や低圧で高サブクール度の場合（L-24～33）、では、ほとんどが粒子化する結果が得られている。</p> <p>また、観測された粒子の径は 3.2～4.8mm であり、初期圧力、水深、サブクール度、熔融物落下速度への依存性は低いと報告されている。</p> <p>なお、FARO 実験に対して MAAP コードにおいて実験解析が行われており、圧力スパイク等の実験結果と解析結果が比較されている。</p> <p>(2) KROTOS 実験</p> <p>欧州 JRC（Joint Research Center）のイスプラ研究所における FARO 計画の一環として行われた実験であり、FARO 実験が高圧条件を主目的に行われたのに対して、KROTOS 実験では、低圧及びサブクール水を主として実施されている。</p> <p>実験装置の概要を図 3.1-3 に示す。実験手順は、FARO 実験とほぼ同様であり、電気炉内で模擬物質を熔融させ、水プールに落下させる。実験条件は、表 3.1-2 に示すとおりであり、模擬物質は酸化アルミニウム（Al₂O₃）と UO₂ 混合物（80wt%UO₂+20wt%ZrO₂）が用いられており、アルミナ 1.0～1.8kg、UO₂ 混合物は 2.62～5.15kg、水プールの水深は約 1.1m、水プールのサブクール度は 4～123K の範囲で変動させ複数のケースが行われている。また、水プール底部からのガス注入による外部トリガを与えることで水蒸気爆発を誘発させたケースも行われている。</p> <p>アルミナを用いた実験では、サブクール水の場合は外部トリガなしで水蒸気爆発が発生し、低サブ</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>発の伝播がし易くなった可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> UO₂ 混合物実験では、外部トリガなしでは水蒸気爆発は発生していない。UO₂混合物の方が一般的に過熱度は小さく、UO₂混合物粒子表面が水と接触した直後に表面が固化し易く、これが水蒸気爆発の発生を抑制した可能性がある。UO₂混合物実験では水素ガスが発生し、これにより蒸気膜の崩壊による水蒸気爆発の発生を抑制した可能性がある。 <p>(1) ALPHA 実験</p> <p>ALPHA 実験^[2]では、テルミット反応による酸化アルミニウムと鉄からなる模擬溶融物を用いた実験が実施されている。ALPHA 実験装置を図3-1に示す。実験容器は、内径3.9m、高さ5.7m、容積50m³である。模擬格納容器に設置した冷却水プールに高温溶融物を落下させ、水蒸気爆発に関する特性データを計測する実験装置である。表3-2にALPHA 実験の実験結果のまとめを示す。高雰囲気圧力（STX008, STX012, STX015）、サブクール度が小さい場合（STX014）は、水蒸気爆発の発生が抑制される実験結果が知見として得られている。溶融物を半減させた3ケース（STX001, STX010, STX013）のうち、2ケース（STX001, STX013）では、水蒸気爆発が発生していない。また、水蒸気爆発のエネルギー変換効率は1～6%程度となっている。ALPHA 実験の代表的実験（STX016）の圧力変化の例を図3-2に示す。</p>	<p>クールの場合（ケース27, 28, 41, 44, 50, 51）は、外部トリガがある場合（ケース28及び44）に水蒸気爆発が発生する結果であった。一方、UO₂混合物を用いた実験では、サブクール度は4～123Kの範囲で、外部トリガなしでは水蒸気爆発は発生せず、外部トリガありの場合でも、溶融物の重量が多い、あるいは、水プールのサブクール度が大きい場合（ケース46, 52, 53）に水蒸気爆発が観測されているが、エネルギー変換効率はアルミナのケースよりも1桁以上低い結果であった。なお、ケース47は水蒸気爆発には至らなかったと判断されたが、圧力スパイクから計算された機械的エネルギーへの変換効率は0.01%である。図3.1-4に、アルミナ（ケース42、水蒸気爆発あり）とUO₂混合物（ケース37、水蒸気爆発なし）の圧力変化を示す。アルミナの場合、初期の圧力上昇は、比熱の小ささから、UO₂混合物に比べて緩やかであるが、約1,750ms時点では、瞬時に圧力上昇が観測されている。</p> <p>このように、アルミナとUO₂混合物のケースで、水蒸気爆発の発生の有無や規模が異なる結果となっており、その考察が行われている。粒子径はアルミナの8～17mmに対しUO₂混合物は1～1.7mmであり、UO₂混合物の方が小さく、粒子化直後の表面積が大きいことから粗混合時に水プールが高ボイドとなり、トリガの伝搬を阻害した可能性がある。また、アルミナは、比重が小さいことから水面近傍でブレイクアップし、径方向に拡がったためにトリガの伝搬がしやすくなったと考えられている。また、UO₂混合物では、粒子表面と水が接触した直後に表面が固化し、かつ、金属-水反応によって発生した水素が蒸気膜に混入していることにより、これらが要因となって水蒸気爆発の発生を阻害していると考えられている。</p> <p>(3) ALPHA 実験</p> <p>旧原子力研究所 JAERI で行われた実験であり、シビアアクシデント時の原子炉格納容器内の諸現象を明らかにするとともに、緩和策の有効性を評価することを目的とした事故時原子炉格納容器挙動試験（ALPHA: Assessment of Loads and Performance of Containment in Hypothetical Accident）の一環で実施された。</p> <p>実験装置の概要を図3.1-5に示す。実験では、熔融ステンレス鋼（高周波誘導加熱）あるいは酸化アルミニウムと鉄から成る溶融物（テルミット反応により加熱）を、ALPHA 装置の模擬原子炉格納容器内の水プールに落下させるものであり、模擬原子炉格納容器は内径4m、高さ5m及び容積50m³である。</p> <p>実験条件及び結果の一覧を表3.1-3に示す。図3.1-6には、水蒸気爆発が生じた代表的なケースとしてケース016の圧力応答を示しているが、図から分かるように圧力上昇は約0.13MPaと低いものであった。</p> <p>熔融ステンレス鋼の場合（ケース102～104）では、水プールのサブクール度が大きい場合でも水蒸気爆発の発生は観測されなかった。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(4) COTELS 実験</p> <p>COTELS 実験^[7]では、模擬溶融物として U₂-Zr-ZrO₂-SS 混合物を用いており、コリウムに金属成分が含まれている。COTELS 実験装置の概要を図 3-7 に示す。表 3-5 に COTELS 実験の実験結果のまとめを示す。COTELS 実験の代表的な実験ケース (A1) の圧力挙動を図 3-8、各実験ケースの圧力変化を図 3-9 に示す。溶融混合物がプール水に接触した直後 (Region 1) は急激な圧力上昇となる。その後、サブクール水では蒸気凝縮が発生し、一時的に圧力が減少する (Region 2) が、溶融混合物からの熱伝達による蒸気発生により、準定常的な状態まで徐々に圧力が上昇する (Region 3)。COTELS 実験で得られた主な知見は以下である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ サブクール度が大きいケースも含め、全ての実験で水蒸気爆発は発生していない。 ・ プールに落下した溶融コリウムは、ほとんどがプール水中で粒子化した。 ・ 粒子径は、コリウム落下速度の大きいケースを除いて、質量中央径で 6 mm 程度である。コリウム落下速度の大きいケースの粒子径は小さくなっている。 ・ コリウム落下速度の大きいケースで、粒子径が小さく初期圧力上昇幅も大きくなる傾向がある。また、準定常的な状態での圧力は、溶融物量が多く、サブクール度が小さく、プール水量が少ない程高くなる傾向である。 	<p>酸化アルミニウムと鉄の溶融物の実験では、多くのケースが実施されており、溶融物重量、雰囲気圧力、プール水サブクール度を変化させて行われ、さらに、溶融物を分散させ複数のジェットを形成させたケースも行われている。ケース 002, 003, 005, 009, 016, 017 及び 018 は、溶融物 20kg、雰囲気圧力 0.1MPa で、サブクール度 73~90K で行われたものであり、いずれも水蒸気爆発が観測されている。溶融物重量を半減させたケース 001, 010 及び 013 では、ケース 010 のみ水蒸気爆発が観測された。この 3 ケースの条件は有意な差がないことから、この実験体系において水蒸気爆発の発生の有無の境界近傍であり、この結果から、溶融物の落下量が多い場合に水蒸気爆発の発生しやすいことが示されている。水プールを飽和水としたケース 014 では、水蒸気爆発が観測されなかった。一方、ケース 008, 012, 015 及び 025 では、0.5~1.6MPa の範囲で雰囲気圧力を変化させているが、最も低い 0.5MPa のケースのみ水蒸気爆発が観測された。これらより、高雰囲気圧力あるいは低サブクール度の場合に水蒸気爆発が抑制される傾向にあることが示されている。</p> <p>ケース 006, 011, 019, 020 及び 021 は、溶融物を分散させ複数のジェットを形成させたケースであり、3 ケースで水蒸気爆発が観測されたが、水蒸気爆発の規模は抑制される場合と増大される場合があり、溶融物と冷却水の粗混合状態が FCI の進展に大きな影響を及ぼすことを示唆していると結論付けられている。</p> <p>(4) COTELS 実験</p> <p>COTELS 計画は (財) 原子力発電技術機構 (NUPEC) が压力容器外の溶融炉心冷却特性を調べる試験であり、この計画の中で溶融物が水プールに落下したときの水蒸気爆発の発生有無を調べる実験として、カザフスタン国立原子力センター (NNC: National Nuclear Center) の施設を用いた実験が実施されている。</p> <p>実験装置の概要を図 3.1-7 に、実験条件及び結果の一覧を表 3.1-4 に示す。この実験では、軽水炉のシビアアクシデント挙動解析結果に基づいて試験条件が設定され、具体的には、軽水炉のシビアアクシデントでは、原子炉容器内圧が低圧で破損するシーケンスが支配的であり、かつ、原子炉容器の破損として貫通部の破損を考慮している。また、LOCA を起因とするシーケンスが支配的であることから、原子炉格納容器床面の水プールは飽和水 (サブクール度 0~86K) とし、水深は 0.4~0.9m である。また、溶融物は、U₂: 55wt%, Zr: 25wt%, ZrO₂: 5wt%, SS: 15wt% の混合物であり、下部プレナム内の構造物も考慮して多くの金属成分を含むよう模擬したものである。この溶融物は、圧力ヘッド計装配管の径に相当する 5cm 径のジェットで水プールに落下させている。</p> <p>表 3.1-4 に示す 8 ケースの実験では、サブクール度が大きいケースも含め、すべての実験で水蒸気爆発は発生していない。典型的な圧力の応答として、ケース A-1 における計測結果を図 3.1-8 に示す。また、各ケースの圧力応答を図 3.1-9 に示す。溶融ジェットと水プールが接触した直後 (Region 1) では、急激な圧力上昇が見られ、その後は溶融物のエネルギーが水プールの沸騰に変換されるに</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(5) TROI 実験</p> <p>TROI 実験^[81]は、韓国原子力研究所 (KAERI) で実施されている実験であり、2007 年から 2012 年までは、KROTOS 実験とともに OECD/NEA の SERENA プロジェクトとして実施された実験である。実験装置の概要図を図 3-10 に示す。また、実験条件及び実験結果を表 3-6 に示す。</p> <p>ZrO₂ を用いた実験では外部トリガリングを与えていないが、圧力スパイクや水蒸気爆発が発生した実験がある。一方、UO₂/ZrO₂ の混合物を用いた実験では、異なった条件による内部トリガリングを発生させるため又は外部トリガリングによる水蒸気爆発時の発生エネルギーを変えるため、混合物の割合、水深、混合物量等の様々な条件により実験を実施し、数ケースでは水蒸気爆発が発生している。TROI 実験で得られた主な知見は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自発的な水蒸気爆発が生じた実験は、融点を大きく上回る過熱度を溶融物に対して与えるなどの実機と異なる条件であり、その他の実験では自発的な水蒸気爆発は生じていない。 ・ 水深が深い場合 (130cm) には、内部トリガリングによる水蒸気爆発は発生していない。水深が深いことにより、溶融物粒子が底部に到達するまでの沈降時間が長くなり、溶融物粒子が固化しやすい状況となる。このため、溶融物粒子が底部に接触することで発生するトリガリングの可能性は低減する可能性がある^[9]。 	<p>つれて、緩やかに圧力が上昇している。溶融物が水プールに落下した直後の圧力上昇は、溶融物の落下速度に最も大きな影響を受け、圧力上昇速度、上昇幅ともに、落下速度に比例する。また、水蒸気爆発が生じていないため、プール水のサブクール度が大きくなると初期の圧力上昇幅は小さくなる傾向にあったと報告されている。粒子化量に関しては、水深 0.4m においても、ほとんど (90%以上) が粒子化しており、粒子径は多くのケースで約 6mm であったが、落下速度が速い場合には径が小さくなる傾向が確認されている。初期の圧力上昇幅と粒子径には相関があり、初期圧力上昇は粒子化した溶融物からの熱伝達が支配的であると報告されている。</p> <p>(5) TROI 実験</p> <p><u>TROI 実験装置は、韓国原子力研究所 (KAERI) に設置されている装置であり、原子炉で実際に使用されている物質を用いて、その溶融物の冷却や水蒸気爆発挙動に関する情報を提供するものである。実験装置の水深は 60cm から 130cm までを範囲としている。TROI 実験装置の概要を図 3.1-10 に示す。初期段階から、FCI における物質の効果についての実験が行われてきており、様々な種類の溶融物について検討されてきた。</u></p> <p><u>表 3.1-5 に TROI 実験の条件及び結果を示す。実験で得られた主な知見を以下に記す。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>ZrO₂ を使用した実験では、いくつかのケースで水蒸気爆発が観測された。</u> ・ <u>UO₂-ZrO₂ 混合物を使用した実験においては、80%UO₂+20%ZrO₂ 混合物と 70%UO₂+30%ZrO₂ 混合物では、異なる様相の水蒸気爆発が観測された。これは、共晶物である 70%UO₂+30%ZrO₂ 混合物と非共晶物である 80%UO₂+20%ZrO₂ 混合物の相違によるものであると考察された。非共晶物の混合物 (80%UO₂+20%ZrO₂) では、液滴の表面に柔らかい液膜が形成され、それが細粒化を助け、機械的エネルギーへの変換効率を小さくしている。さらに、共晶物の混合物 (70%UO₂+30%ZrO₂) では、固化した液滴の中に空孔が観測された。粒子内の空孔については、固化状のクラストと液状の核との間の張力の結果生じたものと考察された。</u> ・ <u>UO₂-ZrO₂-金属混合物 (UO₂-ZrO₂/Zr/Fe) を使用した実験では、2つの混合しない金属は分離され、層状化し、より密度の大きい金属はるつぼの底に堆積する結果となった。金属が加えられた溶融物での FCI 実験に関しては、結論は様々である。実際、TROI 51 実験では水蒸気爆発に至ったが、デブリは化学的に不均質であった。この結果に関して、サンプル内部の空孔とその水蒸気爆発の強さとの関連が指摘された。</u> ・ <u>いずれの条件においても、水蒸気爆発が観測されたのは、外部トリガがある場合又は溶融物の過熱度が高い場合である。</u> 	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(6) SERENA 実験</p> <p>SERENA 実験は、OECD/NEA 主導のもと実施されている実験であり、2001年から2006年にかけて実施されたフェーズ1と、2007年から2012年にかけて実施されたフェーズ2に分かれている。フェーズ1では既存の実験に対する再現解析が行われた。また、フェーズ2ではKROTOS及びTROI装置を使用した実験と、その再現解析が行われた。さらに、両フェーズにおいて実機原子炉を想定した解析が行われた。フェーズ2で行われた実験の実験条件及び実験結果を表3-7に示す。</p> <p>フェーズ1、フェーズ2においてそれぞれ得られた知見は以下のとおりである。</p> <p>フェーズ1</p> <ul style="list-style-type: none"> （解析）解析コードはアルミナを用いた実験によって調整されており、$UO_2 \cdot ZrO_2$ コリウムの爆発による機械的エネルギー変換効率を過大評価する傾向にある。 （解析）予測される炉内水蒸気爆発の最大荷重は原子炉圧力容器の破損強度と比べて十分小さい。 （解析）予測される炉外水蒸気爆発の最大荷重は原子炉格納容器に影響を与える可能性があるが、解析コードの不確かさとばらつきが大きく、その程度を推定することは難しい。 <p>フェーズ2</p> <ul style="list-style-type: none"> （実験）$80\%UO_2 \cdot 20\%ZrO_2$ コリウムは、$70\%UO_2 \cdot 30\%ZrO_2$ コリウムに比べて、やや爆発のエネルギーが大きい。これはフェーズ1の結果と逆の傾向であり、さらに考察が必要。 （実験）$UO_2 \cdot ZrO_2$ のみで構成されるコリウムは、アルミナと比べて爆発のエネルギーは小さい。 （実験）コリウムの組成に酸化物以外（金属の単体など）が含まれる場合について、酸化と水素ガス生成による影響は定量化できなかった。 （実験）全ての観測された爆発の機械的エネルギー変換効率は、従来観測されていたエネルギー変換効率と同様に、比較的小さい。これは、UO_2 の密度が高いために溶融コリウムの粒子径が小さくなり、固化が促進されて水蒸気爆発への寄与が小さくなったことと、粗混合段階のポイド率が上昇して爆発のエネルギーを低減したことによると推測されている。 	<p>(6) SERENA 実験</p> <p>SERENA 実験は OECD/NEA の枠組みで実施された水蒸気爆発解明のためのプロジェクトであり、①2つの型の装置（TROI 及び KROTOS）を使用した実験、②データの分析、解析コードの評価及び解析コードのベンチマークを支援するための実験前後の計算からなる解析検討、③実機プラントを想定した解析演習、を主要な目的としている。ここでは、SERENA 実験で行われた TROI 装置及び KROTOS 装置を使用した実験に関する概要を整理する。</p> <p>表 3.1-6 に TROI (TS-1~TS-6) 及び KROTOS (KS-1~KS-6) 実験の条件及び結果を示す。実験で得られた主な知見を以下に記す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械的エネルギー変換効率は小さく、典型的には 0.1%程度、大きくとも 0.7%程度である。TROI 実験の方が KROTOS 実験よりも大きくなっているが、KROTOS は 1 次元の装置、TROI は多次元の装置であることから、KROTOS の方が機械的エネルギー変換効率が高いことが予想されるため、直感に反する結果である。しかしながら、KROTOS の方が TROI よりも高いポイド率を示していることから、この観測結果は妥当であると考えられる。 以前の TROI 実験では $70\%UO_2 + 30\%ZrO_2$ 燃料（いわゆる共晶物）を使用しており、この場合、$80\%UO_2 + 20\%ZrO_2$ 燃料（いわゆる非共晶物）の場合よりも爆発の程度が大きくなっていることが観測された。したがって、水蒸気爆発の特徴は酸化コリウムの性質に紐づけられていると考えられていた。しかしながら、この知見は SERENA プロジェクトで否定された。実際、TROI 及び KROTOS の両装置において、$80\%UO_2 + 20\%ZrO_2$ 燃料の方が $70\%UO_2 + 30\%ZrO_2$ 燃料よりもいくらか爆発の程度が大きい結果が観測されている。したがって、共晶物と非共晶物の間の挙動に相違があるという知見については、もはや支持されていない。 UO_2 と ZrO_2 からなる燃料は、模擬燃料に比べて爆発の程度が小さい。一方で、計算による爆発の程度は、SERENA 実験におけるいくつかの実験よりも高くなっている。 TROI と KROTOS の結果の相違は、十分に酸化されていない溶融物組成が原因ということで注目されている。TROI 実験では、効果は定量化されていないが、酸化による水素生成が重要とされている。一方、KROTOS 実験では、水素の役割については確実なことは言えていない。 注目されるもう一つの相違は、これら 2 つの実験の間の機械的エネルギー変換効率についてである。厳格な制限下での実験（KROTOS）は、それほど厳格ではない制限下での実験（TROI）よりも機械的エネルギー変換効率が低く現れる。このような相違は直感に反することから、更なる検討が必要である。 KROTOS と TROI の結果は、一般的に 2 つの異なる型のスケールでの矛盾しない挙動を示している。そして、その結果は、適切な不確かさの考慮によって、実機スケールへ外挿できる可能性があることを示している。 	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3.2 FCI 実験の知見の整理</p> <p>前項で示したFCI実験の知見を整理し、原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性及び原子炉圧力容器外FCIの圧力スパイクの影響因子について考察する。</p> <p style="text-align: center;">【参考のため掲載順を入れ替え】</p> <p>(2) 原子炉圧力容器外FCIの圧力スパイクの影響因子</p> <p>水蒸気爆発が発生しない場合でも、溶融炉心の冷却材への伝熱による水蒸気発生により圧力スパイクが生じる。ここでは、原子炉圧力容器外FCIの圧力スパイク影響因子について、BWRの原子炉圧力容器外FCIを模擬したCOTELS実験の実験結果を中心に検討する。各ケースの圧力変化を図3-9に示す。COTELS実験では、基本実験ケース(A1)に比較してコリウム量が少ない実験ケース(A4)では、デブリ保有熱量が少なく圧力上昇も低くなる傾向がある。また、COTELS実験では、サブクール度が大きいケース(A5,A6)、プール水深が大きいケース(A9)では、蒸気凝縮により圧力上昇が低くなる傾向がある。</p> <p>粒子化割合については、COTELS実験では水深は0.4mであるが、ほとんどがプール水中で粒子化した。また、FARO実験では、水深が1~2mであるが、高圧・飽和水の酸化コリウム実験では一部が粒子化し、高圧・飽和水のコリウムに金属成分を含んだ実験では全てコリウムが粒子化している。粒子化割合が大きいほうがプール水への伝熱量が多くなるため、圧力上昇は高くなると考えられる。</p> <p>粒子径については、COTELS実験結果ではコリウム落下速度の大きいケース(A8,A10)では、基本実験ケース(A1)に比較して、粒子径が小さく初期圧力上昇幅も大きくなる傾向がある。一方、FARO実験では、粒子の質量中央径は比較的大きかったが、実験条件(初期圧力、水深、コリウム落下速度、サブクール度)に対する依存性は低いと報告されている。各UO₂混合物実験の平均的な粒子径は、溶融物量の多いFARO実験では2.6~4.8mm^[4]、COTELS実験では6mm程度^[7]である。</p> <p>以上の影響因子をBWRプラント体系で考えた場合、以下に分類できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器下部(ペダスタル)領域のプール水の状態(サブクール度、水位) ・ 溶融炉心の落下量及び粒子化(破損口径、粒子化割合、落下速度) ・ プール水とデブリ粒子との伝熱(デブリ粒子径) 	<p>・ <u>KROTOS実験とTROI実験は最新の計測装置を使用して計測されている。そして、解析コードの評価及び改良のために、局所的及び全体的なデータ、特に局所ボイド率及び溶融物分布がこれらの実験から得られた。しかし、これらの実験で得られた意義のあるデータはまだ十分に分析されていない。また、これまでに実験データの不確かさを定量化する試みや爆発エネルギーを計算する試みは行われていない。</u></p> <p>3.2 FCI 実験の知見の整理</p> <p>本項では、前項に示した知見に関する整理を行う。</p> <p>(1) FCI現象への影響因子</p> <p>国内外のFCI実験で得られた結果を要約すると、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水プールの水深が深い場合、細粒化割合が大きい。FARO実験のうち、原子炉容器外FCIを想定したケースでは、水深が1~2mの場合に対して、溶融物のほとんどが細粒化した。一方、COTELS実験では、水深が0.4mの場合に対して、溶融物の90%以上が細粒化した。 ・ 水プールのサブクール度が大きい場合、水蒸気爆発に至る可能性は高いが、圧力スパイクの観点からは、サブクール度が小さい方が厳しい。KROTOS実験(ケース46, 52, 53)において、UO₂混合物に対して、水プールのサブクール度が大きく外部トリガを与えた場合に、水蒸気爆発が発生した。一方、圧力スパイクについては、サブクール度が77Kの場合には約0.06MPaの圧力上昇(KROTOS実験(ケース37))、サブクール度が0Kの場合には約3MPaの圧力上昇(FARO実験(ケースL-14))となった。 ・ 溶融炉心の落下量が多い場合は、圧力上昇が大きい。COTELS実験(ケースA-1)では、サブクール度0Kで落下量が56.3kgであり、圧力上昇は8秒で約3MPa、FARO実験(ケースL-14)では、サブクール度0Kで落下量が125kgであり、圧力上昇は3秒で約3MPaであった。 ・ デブリ粒子の径は、UO₂混合物の場合、実験によりばらつきはあるが、1~6mmであった。観測されたデブリ粒子径は、FARO実験では3.2~4.8mm、KROTOS実験では1~1.7mm、COTELS実験では約6mmであった。 ・ デブリ粒子の径は、デブリジェットの落下速度に反比例する傾向があることが、COTELS実験で確認された。 ・ デブリ粒子の径が小さい方が、初期の圧力上昇幅が大きくなる傾向があることがCOTELS実験で確認された。 ・ 機械的エネルギーへの変換効率率は、共晶物の混合物の方が大きくなると整理されたが(TROI実験)、後にそのような知見は否定された(SERENA実験)。 <p>これらの知見について、PWRプラントの体系に置き換えると以下の3つの観点に分類できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉下部キャビティ水の状態(水温及び水量) ・ 溶融炉心の落下量(落下速度)と細粒化量 ・ 原子炉下部キャビティ水とデブリ粒子の伝熱(デブリ粒子の径) 	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却水の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="465 169 725 193">【参考のため掲載順を入替え】</p> <p data-bbox="165 204 633 228">(1) 原子炉圧力容器外FCIの水蒸気爆発の可能性</p> <p data-bbox="165 236 1048 400">酸化アルミニウムと鉄からなる模擬溶融物を用いたALPHA実験及びアルミナを用いたKROTOS実験では、外部トリガーなしで水蒸気爆発が発生しているが、UO₂を用いたKROTOS, FARO, COTELS実験では外部トリガーなしでは水蒸気爆発は発生していない。UO₂混合物では一般的に過熱度が小さいため、粗混合粒子表面が早期に固化し、蒸気膜が崩壊しても溶融物の微細化が起きにくく、水蒸気爆発の発生が抑制されるためと考えられる。</p> <p data-bbox="165 443 1048 671">TROI実験ではUO₂混合物を用いた場合でもトリガーなしで水蒸気爆発が発生している例（TROI-10, 12, 13, 14）が報告されている。TROI-10, 12は、溶融物温度が3800K程度の高い温度での実験条件である。また、TROI-13, 14の溶融物温度は、それぞれ2600K, 3000Kであるが、TROI-13では、温度計測に問題があり実際には3500K以上と推測されている。また、TROI-14では、二つの温度計が異なる最高温度（4000K, 3200K）を示しており、温度計測の不確かさが大きいとされている。以上を踏まえると、TROI実験の溶融物温度はかなり高い実験条件と考えられ、他の実験で想定しているような実機条件に近い溶融物温度では水蒸気爆発の発生可能性は十分小さいと考えられる。</p> <p data-bbox="165 715 1048 943">TROI実験と実機条件の比較を検討するために、模擬溶融物にコリウム（UO₂/ZrO₂）を用いたTROI-10, 12, 23, 25と実機条件の比較を表3-8に示す。この表では、図3-11に示すRicou-Spalding式による粒子化割合^[10]の概算値を示している。溶融物温度が高く過熱度が大きいTROI-10, 12では、自発的水蒸気爆発が観測されている。これに対して、溶融物温度が高く過熱度が大きい水深が1.3mと深いTROI-23では、水蒸気爆発は発生していない。これは、水深が深いことにより、溶融物粒子が底部に到達するまでの沈降時間が長くなり、溶融物粒子が固化しやすいため、溶融物粒子が底部に接触することで発生するトリガリングを抑制したと考えられる^[9]。</p> <p data-bbox="165 986 1048 1182">水蒸気爆発が発生したTROI-10, 12の粒子化割合は約60%であるが、水深がより深いTROI-23では、粒子化割合が約80%と比較的大きい値となっており、底部に到達する前に固化する溶融物粒子が比較的多いと考えられる。一方、水深及び粒子化割合はTROI-10, 12と同程度であるが、溶融物温度がやや低いTROI-25では、蒸気発生による圧力上昇（SteamSpike）は生じているが、水蒸気爆発は発生していない。溶融物温度が低い場合、過熱度が小さく粒子が固化しやすいため、水蒸気爆発が抑制されたものと考えられる。</p> <p data-bbox="165 1225 1048 1358">実機条件では、溶融ジェットの初期直径は計装配管口径（5cm）～制御棒駆動機構ハウジングの直径（15cm）程度と想定されるが、ベデスタル注水対策により水深は2.0m以上となる。これより、粒子化割合は約60%～100%となるが、溶融物温度が2600K以下と水蒸気爆発が発生したTROI実験よりも十分低いと考えられ、大規模な水蒸気爆発の発生の可能性は十分小さいと考えられる。</p>	<p data-bbox="1070 204 1576 228">(2) 原子炉容器外FCIにおける水蒸気爆発の発生可能性</p> <p data-bbox="1070 236 1960 432">水蒸気爆発は、溶融炉心と冷却水の相互作用（FCI）のうち、溶融炉心と水の伝熱により水蒸気が生成される過程で衝撃波を伴う現象であり、溶融炉心はエントレインされ粒子状となり水中に混合する、“初期粗混合”の状態において、デブリ粒子を覆う蒸気膜が局所的に崩壊（トリガリング）し、デブリ粒子と水が直接接触して急激な伝熱が行われ、これらエントレインされた周囲のデブリ粒子に瞬時に拡大及び伝ばして、系全体で水蒸気が爆発的に発生し、衝撃波を生じ、原子炉格納容器への機械的荷重が生じると考えられている。</p> <p data-bbox="1070 440 1960 504">ここでは、FCI実験のうち、UO₂を用いたFARO実験、KROTOS実験、COTELS実験及びTROI実験の結果から、水蒸気爆発に至る可能性について考察する。</p> <p data-bbox="1070 547 1960 1422">4つの実験のうち、水蒸気爆発が観測されたのはKROTOS実験及びTROI実験であり、水プール底から圧縮ガスを供給し膜沸騰を強制的に不安定化（外部トリガリング）を行った場合あるいは溶融物温度が比較的高い場合に水蒸気爆発が観測されているが、外部トリガリングを行ったケースでも、水蒸気爆発が観測されないケースもあった。これらを比較する。KROTOS実験ケース46及び47は、ケース36及び37と同程度のサブクール度であるが、落下させる溶融物が約1.6倍であり、同じサブクール度であれば溶融物の落下量が多い場合に水蒸気爆発の可能性が高まることを示している。また、ケース52及び53は、ケース36及び37と比べて落下させる溶融物がわずかに少ない2.6kgであるが、サブクール度が大きく、ケース52及び53で水蒸気爆発の発生が観察されている。このことから、サブクール度が大きい場合に水蒸気爆発の可能性が高くなると言える。一方、TROI実験では、<u>ケース10, 12, 13, 14, 34, 35, 36, 37, 46及び51において水蒸気爆発の発生が観測されており、ケース10を除いていずれも外部トリガリングを行っている。ケース10では溶融物の温度が3800Kと比較的高くなっている。外部トリガリングを行っていない水蒸気爆発が観測されていないのは、ケース25, 26, 39, 43, 48及び52であり、これらの特徴は溶融物温度が低いあるいは溶融物の落下量が少ないことである。このことから、溶融物の温度が高い場合に水蒸気爆発の可能性が高くなると言える。さらに、TROI実験と実機条件の比較を検討するために、溶融物にUO₂及びZrO₂を用いたケース10, 23, 25と実機条件の比較を表3.2-1に示す。この表では、図3.2-1に示すRicou-Spalding式による粒子化割合の概算値を示している。溶融物温度が高いケース10では自発的水蒸気爆発が観測されている。これに対して、溶融物温度が高いが水深が比較的深いケース23では水蒸気爆発は発生していない。これは、水深が深い場合には途中で溶融物が固化することから、溶融物が底部に接触することで発生するトリガリングが抑制されたためと考えられる。水蒸気爆発が発生したケース10の粒子化割合は約60%であるが、水深が深いケース23では粒子化割合は約80%であり、底部に到達する前に固化する溶融物が比較的多い。一方、水深及び粒子化割合はケース10と同程度であるが、溶融物温度がやや低いケース25では圧力スパイクは生じているものの、水蒸気爆発は発生していない。溶融物温度が低い場合、過熱度が小さく固化しやすいため、水蒸気爆発が抑制されたと考えられる。実機条件では溶融ジェットの直径は4cm～40cm程度と想定され、原子炉下部キャビティの水深は1.5m以上となる。これより、粒子化割合は約20%～100%となるが、溶融物温度は2700K以下であり、水蒸</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>また、いくつかの TROI 実験では水蒸気爆発が発生したときの機械的エネルギー変換効率が報告されている（表 3-6）。これらの中で自発的に水蒸気爆発が発生したとされる TROI-13 の機械的エネルギー変換効率は 0.4% である。これは、ALPHA 実験（表 3-2）や KROTOS 実験（表 3-3）で観測されているように、アルミナによる金属模擬溶融物実験の値に対して比較的小さい値となっている。</p> <p>また、KROTOS 実験（K52, K53, K46）では、U₂ 混合物を用いた実験でも外部トリガーを与えた場合は水蒸気爆発が観測されているが、これらの実験ケースはサブクール度が大きい実験ケースである（K52 のサブクール度：102K, K53 のサブクール度：122K, K46 のサブクール度：83K）。したがって、サブクール度が大きい場合には、U₂ 混合物を用いた場合でも、水蒸気爆発の可能性が高くなることが考えられる。これは、サブクール度が大きい場合には、粗混合粒子の蒸気膜の安定度が低下し、蒸気膜の崩壊が発生しやすいことが要因と考えられる。</p> <p>しかし、KROTOS 実験の K52, K53 と同程度の高サブクール度の条件である FARO 実験の L-31（サブクール度：104K）、L-33（サブクール度：124K）では、水蒸気爆発が発生していない。これらの実験の U₂ 混合物量は、KROTOS 実験が数 kg であるのに対して 100kg 程度であり、より実機条件に近い。</p> <p>また、COTELS 実験の高サブクール実験（A11）でも水蒸気爆発は発生していない。COTELS 実験は、BWR の原子炉圧力容器外 FCI を模擬した実験であり、溶融物に原子炉圧力容器内の構造物を想定したステンレススチールを含んでいる。また、溶融物量も 50kg 程度であり、KROTOS 実験よりも実機条件に近い。</p> <p>以上より、U₂ 混合物の溶融物量が少ない KROTOS 実験では、水蒸気爆発が発生しているが、溶融物量が多くより実機体系に近い大規模実験である FARO 実験、COTELS 実験では、水蒸気爆発は発生していない。</p> <p>FCI 実験では、水蒸気爆発のトリガーを発生させるために、高圧ガスを封入した装置（KROTOS 実験では最大 20MPa のガスを封入可能な装置）を用いている。水蒸気爆発のトリガーは粗混合粒子の周囲に形成される蒸気膜の崩壊に起因すると考えられており、トリガー装置により圧力パルスが発生させ蒸気膜を不安定化させる効果があると考えられる。実機条件では、このようなトリガー装置で発生させているような圧力外乱となる要因は考えられない。また、溶融物がプール底部に接触することでトリガー要因となることが考えられるが、BWR の原子炉圧力容器外 FCI を模擬した COTELS 実験の実験装置では、BWR のベダスタル底部と同様に平板コンクリートを模擬した実験装置としており、実機条件と同様であるが水蒸気爆発は観測されていない。</p> <p>また、実機条件では、水深が実験条件よりも深くなる可能性があるが、水深が深いことにより、溶融物粒子が底部に到達するまでの沈降時間が長くなり、溶融物粒子が固化しやすい状況となる。このため、溶融物粒子が底部に接触することで発生するトリガリングのリスクは低減する可能性がある。</p>	<p>気爆発が発生した TROI 実験よりも十分低く、大規模な水蒸気爆発の発生の可能性は十分小さいと考えられる。</p> <p>この結果を踏まえれば、FARO 実験のケース L-33 は、KROTOS 実験ケース 53 と同程度のサブクール度であるが、溶融物は約 40 倍の量であり、水蒸気爆発が起こりやすい条件と言えるが、水蒸気爆発は観察されていない。一方、COTELS 実験では、U₂ 割合は低めであるが、溶融物の量は、FARO 実験と KROTOS 実験の中間的な量である。いずれのケースも、水蒸気爆発の発生は観察されなかった。</p> <p>以上、U₂ を用いた FARO 実験、KROTOS 実験、COTELS 実験及び TROI 実験について分析した結果、KROTOS 実験及び TROI 実験で外部トリガリングによりデブリ粒子を覆う蒸気膜の崩壊を促進させたケースで、溶融物が多い、サブクール度が大きい、又は溶融物温度が高い場合に水蒸気爆発に至っている。また、KROTOS 実験で水蒸気爆発が確認されたケースよりも溶融物が多い FARO 実験や COTELS 実験では、水蒸気爆発は観察されていない。このことから、デブリ粒子を覆う蒸気膜は安定性があり、外部トリガリングなどの外的な要因がなければ、蒸気膜の崩壊は起こりにくいことを示している。</p> <p>したがって、実機においては、原子炉下部キャビティ水は準静的であり、KROTOS 実験や TROI 実験のような外部トリガリングとなり得る要素は考えにくく、実機において大規模な水蒸気爆発に至る可能性は極めて低いと考えられる。</p> <p>また、炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率について、JASMIN コードを用いて水蒸気爆発が発生したという条件における格納容器破損確率が評価²されている。</p> <p>²JAEA-Research 2007-072 「軽水炉シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価」2007年8月</p> <p>これについて、初めに、炉外水蒸気爆発の起こりやすさの観点で整理する。本解析では水蒸気爆発を起こしやすくするため、爆発の規模が最も大きくなり得る時刻、即ち粗混合融体質量が最初のピークをとる時刻に恣意的にトリガリングを与えている。これは、爆発に関与し得る融体の質量が最大に近く、ボイド発生とそれによる圧力の減衰が低い条件であることから、爆発の強度が大きくなりやすい条件となっているが、実機では、前述のとおり原子炉下部キャビティ水は準静的であり、トリガリングとなり得る要素は考えにくい。</p> <p>次に水蒸気爆発が起こったときの影響の観点で整理する。本論文の中で、原子炉格納容器のフラジリティ分布については、大半が 200MJ 以上の範囲に含まれている。また、JASMIN コードにおけるランダムサンプリング解析結果によれば、融体ジェット直径の分布として 0.1m~1m の一様分布を仮定しており、0.9m を超える場合に、流体の運動エネルギーが 200MJ を超える結果となっている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>以上より、BWRの実機条件において水蒸気爆発のトリガーとなる特段の要因は考えられないため、実機条件でも水蒸気爆発の発生リスクは十分小さいと考えられる。</p> <p>上記の実験条件と実機条件の検討より、実機においては、原子炉格納容器の損傷に至る大規模な原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性は十分に小さいと考えられる。このため、原子炉圧力容器外FCIの有効性評価では、蒸気発生による圧力上昇（圧力スパイク）を評価する。なお、参考として、水蒸気爆発の発生を仮定した場合の影響についても、水蒸気爆発解析コード（JASMINE^{[1][2]}）及び構造応答解析コード（AUTODYN^{[1][2]}若しくはLS-DYNA^{[1][3]}）を用いて、水蒸気爆発のトリガーを解析的条件として与えることで水蒸気爆発の発生を模擬した解析を行うことにより、水蒸気爆発による格納容器ペダスタル構造部への影響を評価し、原子炉格納容器の健全性に影響を及ぼさないことを確認している。</p> <p>(3) FCIとMCCIを考慮した格納容器下部水張りの考え方</p> <p>炉心溶融が進捗し炉外に溶融炉心が流出する場合、FCIとMCCIの影響緩和において、格納容器下部への初期水張りが重要なマネジメントとなる。以下では格納容器下部への注水による初期水張りの考え方について示す。</p> <p>FCIの観点では、これまでのFCI実験結果の知見から、BWRの実機条件では水蒸気爆発の発生リスクは十分小さいと考えられる。しかし、万が一水蒸気爆発が発生したと想定すると、水深が深いと粗混合が促進され、水蒸気爆発の規模が大きくなる可能性がある。</p> <p>MCCIの観点では、種々の実験結果から、デブリ上面から除熱を向上させるため、格納容器下部への水張り水深を深くすることにより、溶融炉心が落下時に粒子化され、粒子状ベッドとして堆積することにより、デブリ冷却性を向上させることが影響緩和のために重要である。</p> <p>以上より、水深が深い場合は、万が一水蒸気爆発が発生した場合の影響が大きくなる可能性があるが、MCCIの影響を緩和する観点からは有利である。したがって、水蒸気爆発の評価により原子炉格納容器の健全性に影響を与えないことを十分確認できる範囲で初期水張りの水深を深くし、溶融炉心の粒子化を促進し、MCCIを緩和する運用とすることが得策と考えられる。</p>	<p>これに対して実機解析では、融体ジェット口径は約0.5mであることから、流体の運動エネルギーは200MJ以下と考えられ、この結果フラジリティカーブと重ならず、格納容器破損確率は十分低くなる。</p> <p>フラジリティの設定についても原子炉容器の上昇運動エネルギーが遮へい壁構造物の破損エネルギーで吸収できない場合に即、原子炉格納容器破損に至るという簡易的な取扱いとしている。これに対して実機では、原子炉容器の上昇運動エネルギーが遮へい壁構造物の破損エネルギーで吸収できない場合でも、遮へい壁構造物以外の原子炉格納容器内構造物でエネルギーが吸収できるため、即時に原子炉格納容器破損に至らないと考えられる。</p> <p>以上のとおり、トリガリングの付与、流体の運動エネルギーの大ききめな評価、及びフラジリティの簡易的な取扱いをした場合、条件付確率として、PWRに対する評価結果として6.8E-2（平均値）が算出されている。実機では、トリガリングとなりうる要素は考えにくいこと、融体ジェット口径が約0.5mであること、遮へい壁構造物以外の構造物で吸収できるエネルギーがあることから、格納容器破損確率は本評価結果より十分低い値になると考えられる。</p> <p>(3) FCIとMCCIを考慮した原子炉下部キャビティ水張りの考え方</p> <p><u>炉心溶融後に原子炉容器破損に至り、溶融物が原子炉下部キャビティに移行する場合、溶融物を冷却するために、原子炉容器破損前に原子炉下部キャビティに注水する方策が検討されている（ウェットキャビティ）。ウェットキャビティ方策では、溶融物が細粒化することで崩壊熱除去が促進され、MCCI防止に期待できる一方、FCIの観点では、水蒸気爆発や圧力スパイクによる原子炉格納容器の破損の可能性がある。以下では、原子炉下部キャビティに注水する水張りの考え方について整理する。</u></p> <p><u>FCIの観点では、これまでの実験的知見から、UO₂を用いた各種実験において外部トリガリングがなければ水蒸気爆発の発生は観察されていないこと、また、実機感度解析において圧力スパイクによる原子炉格納容器圧力の上昇は軽微であることから、FCIによる影響は小さいと言える。</u></p> <p><u>MCCIの観点では、水中に溶融物が落下する場合、溶融物の細粒化と固化が促進され、冷却面積が大きくなることから、MCCIによるコンクリート侵食防止にとって有利に働くと言える。</u></p> <p><u>以上から、ウェットキャビティ方策のメリットとデメリットを比較すると、MCCIによるコンクリート侵食防止のメリットが、FCIによる原子炉格納容器破損の可能性のデメリットを上回ると判断できる。</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶解炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由										
<p style="text-align: center;">表 3-1 BWR体系における原子炉圧力容器内水蒸気爆発の発生確率に関する見解</p> <table border="1" data-bbox="174 264 1001 652"> <thead> <tr> <th data-bbox="174 264 465 316">原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する国際会議、文献</th> <th data-bbox="465 264 1001 316">BWRの原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する議論</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="174 316 465 483">OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1993)^(1,4)</td> <td data-bbox="465 316 1001 483">BWRの圧力容器下部プレナムは、制御棒案内管で密に占められている。そして、炉心の広範囲でのコヒーレントなリロケーションは、炉心支持板の存在により起こりにくいと考えられる。このような特徴によって、燃料-冷却材の粗混合のポテンシャルが制限され、水蒸気爆発に起因する水-溶融物スラグの運動エネルギーを消失させる可能性がある。したがって、スラグにより破壊された圧力容器ヘッドのミサイルに伴う格納容器破損は、PWRよりもBWRの方が起こりにくいと評価される。(T.Okkonen等)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="174 483 465 534">NUREG/CR-5960 (1994)^(1,5)</td> <td data-bbox="465 483 1001 534">BWRの下部プレナムには、密に詰められた制御棒案内管があるため、原子炉内水蒸気爆発問題の対象とならない。(T.G.Theofanous等)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="174 534 465 585">SERG-2 ワークショップ (1996)^(1,6)</td> <td data-bbox="465 534 1001 585">物理的なジオメトリは爆発的現象の発生に寄与しないため、BWRのαモード格納容器破損確率は、おそらくPWRより小さい。(M.Corradini)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="174 585 465 652">OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1997)^(1,7)</td> <td data-bbox="465 585 1001 652">下部プレナム構造物の存在により、水蒸気爆発の影響を緩和する。 現在の知見は、一般にBWRでは原子炉内水蒸気爆発は原子炉格納容器への脅威とならない。(O.Zuchuat等)</td> </tr> </tbody> </table>	原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する国際会議、文献	BWRの原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する議論	OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1993) ^(1,4)	BWRの圧力容器下部プレナムは、制御棒案内管で密に占められている。そして、炉心の広範囲でのコヒーレントなリロケーションは、炉心支持板の存在により起こりにくいと考えられる。このような特徴によって、燃料-冷却材の粗混合のポテンシャルが制限され、水蒸気爆発に起因する水-溶融物スラグの運動エネルギーを消失させる可能性がある。したがって、スラグにより破壊された圧力容器ヘッドのミサイルに伴う格納容器破損は、PWRよりもBWRの方が起こりにくいと評価される。(T.Okkonen等)	NUREG/CR-5960 (1994) ^(1,5)	BWRの下部プレナムには、密に詰められた制御棒案内管があるため、原子炉内水蒸気爆発問題の対象とならない。(T.G.Theofanous等)	SERG-2 ワークショップ (1996) ^(1,6)	物理的なジオメトリは爆発的現象の発生に寄与しないため、BWRのαモード格納容器破損確率は、おそらくPWRより小さい。(M.Corradini)	OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1997) ^(1,7)	下部プレナム構造物の存在により、水蒸気爆発の影響を緩和する。 現在の知見は、一般にBWRでは原子炉内水蒸気爆発は原子炉格納容器への脅威とならない。(O.Zuchuat等)	<p>3.3 これまでの知見のまとめ</p> <p>これまでの知見をまとめると、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉容器内 FCI から水蒸気爆発に至り原子炉格納容器が破損する事象（いわゆるαモード破損）については、発生する可能性は非常に低い。 原子炉容器外 FCI については、UO₂を用いた各種実験において、外部トリガリング等の外的な要因がなければ水蒸気爆発の発生は観察されていない。 恣意的なトリガリングの付与など、水蒸気爆発が起こりやすくなるような条件下における格納容器破損確率評価では、実機より保守的な条件で評価されており、実機での確率は十分低くなると考えられる。 <p>以上から、FCI は原子炉格納容器への直接的な脅威にはならないと考えられる。</p>	
原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する国際会議、文献	BWRの原子炉圧力容器内水蒸気爆発に関する議論											
OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1993) ^(1,4)	BWRの圧力容器下部プレナムは、制御棒案内管で密に占められている。そして、炉心の広範囲でのコヒーレントなリロケーションは、炉心支持板の存在により起こりにくいと考えられる。このような特徴によって、燃料-冷却材の粗混合のポテンシャルが制限され、水蒸気爆発に起因する水-溶融物スラグの運動エネルギーを消失させる可能性がある。したがって、スラグにより破壊された圧力容器ヘッドのミサイルに伴う格納容器破損は、PWRよりもBWRの方が起こりにくいと評価される。(T.Okkonen等)											
NUREG/CR-5960 (1994) ^(1,5)	BWRの下部プレナムには、密に詰められた制御棒案内管があるため、原子炉内水蒸気爆発問題の対象とならない。(T.G.Theofanous等)											
SERG-2 ワークショップ (1996) ^(1,6)	物理的なジオメトリは爆発的現象の発生に寄与しないため、BWRのαモード格納容器破損確率は、おそらくPWRより小さい。(M.Corradini)											
OECD/CSNI F C 1 専門家会議 (1997) ^(1,7)	下部プレナム構造物の存在により、水蒸気爆発の影響を緩和する。 現在の知見は、一般にBWRでは原子炉内水蒸気爆発は原子炉格納容器への脅威とならない。(O.Zuchuat等)											

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 3-2 ALPHA 実験の主要な実験条件及び実験結果(2)

実験名	実験ケース	溶融物組成	溶融物質量 (kg)	圧力(MPa)	水温度(K)	水深 (m)	外部トリガ	水蒸気爆発発生	機械的エネルギーへの変換効率(%)
ALPHA	STX002	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	289	1.0	No	Yes	-
	STX003	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	292	1.0	No	Yes	-
	STX005	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	300	1.0	No	Yes	-
	STX009	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	289	1.0	No	Yes	-
	STX016	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	295	0.9	No	Yes	0.56
	STX017	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	286	0.9	No	Yes	0.56
	STX018	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	283	0.9	No	Yes	3.33
	STX001	Fe-A ₂ O ₃	10	0.10	283	1.0	No	No	-
	STX010	Fe-A ₂ O ₃	10	0.10	297	1.0	No	Yes	-
	STX013	Fe-A ₂ O ₃	10	0.10	284	1.0	No	No	-
	STX014	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	372	1.0	No	No	-
	STX008	Fe-A ₂ O ₃	20	1.60	288	1.0	No	No	-
	STX012	Fe-A ₂ O ₃	20	1.60	290	1.0	No	No	-
	STX015	Fe-A ₂ O ₃	20	1.00	282	1.0	No	No	-
	STX006	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	298	1.0	No	No	-
	STX011	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	290	1.0	No	Yes	-
	STX019	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	281	0.9	No	Yes	5.87
	STX020	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	281	1.0	No	No	-
	STX021	Fe-A ₂ O ₃	20	0.10	281	0.9	No	Yes	4.05

泊発電所3号炉

表 3.1-1 FARO 実験条件及び結果一覧[1]

実験 ID	UO ₂ 質量割合%	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	溶融物落下径 mm	雰囲気圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	水蒸気爆発
L-08	0.8	18	2,923	100	5	0.87	0	なし
L-08	0.8	44	3,023	100	5.8	1.00	12	なし
L-11	0.77	151	2,823	100	5	2.00	2	なし
L-14	0.8	125	3,123	100	5	2.05	0	なし
L-19	0.8	157	3,073	100	5	1.10	1	なし
L-20	0.8	96	3,173	100	2	1.97	0	なし
L-24	0.8	176	3,023	100	0.5	2.02	0	なし
L-27	0.8	128	3,023	100	0.5	1.47	1	なし
L-28	0.8	175	3,052	50	0.5	1.44	1	なし
L-29	0.8	39	3,070	50	0.2	1.48	87	なし
L-31	0.8	82	2,880	50	0.2	1.45	104	なし
L-33	0.8	100	3,070	50	0.2	1.80	124	なし

※ 0.8 の場合の組成は 80%UO₂+20%ZrO₂、0.77 の場合の組成は 77%UO₂+18%ZrO₂+4%Zr。

[1]社団法人 原子力学会「シビアアクシデント熱流動現象評価」平成 13 年 3 月

表 3.1-2 KROTOS 実験条件及び結果一覧[1]

実験 ID	溶融物タイプ	UO ₂ 割合	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	外部トリガ	水蒸気爆発	機械的エネルギーへの変換効率
26	Al ₂ O ₃	0	1.00	2,573	0.1	1.08	40	●	●	0.53 %
27	Al ₂ O ₃	0	1.43	2,573	0.1	1.08	10	-	-	-
28	Al ₂ O ₃	0	1.43	2,573	0.1	1.08	13	●	●	0.85 %
29	Al ₂ O ₃	0	1.45	2,573	0.1	1.08	80	-	●	0.72 %
30	Al ₂ O ₃	0	1.52	2,573	0.1	1.08	80	-	●	1.1 %
38	Al ₂ O ₃	0	1.53	2,885	0.10	1.11	79	-	●	1.45 %
40	Al ₂ O ₃	0	1.47	3,073	0.10	1.11	83	-	●	0.9 %
41	Al ₂ O ₃	0	1.43	3,073	0.10	1.11	5	-	-	-
42	Al ₂ O ₃	0	1.54	2,485	0.10	1.11	80	-	●	1.9 %
43	Al ₂ O ₃	0	1.50	2,825	0.21	1.11	100	-	●	1.3 %
44	Al ₂ O ₃	0	1.50	2,873	0.10	1.11	10	●	●	2.8 %
49	Al ₂ O ₃	0	1.74	2,415	0.37	1.11	120	-	●	2.2 %
50	Al ₂ O ₃	0	1.57	2,290	0.10	1.11	13	-	-	-
51	Al ₂ O ₃	0	1.80	2,475	0.10	1.11	5	-	-	-
32	81%UO ₂ +18%ZrO ₂	0.81	3.03	3,083	0.10	1.08	22	-	-	-
33	81%UO ₂ +18%ZrO ₂	0.81	3.20	3,083	0.10	1.08	75	-	-	-
35	78%UO ₂ +21%ZrO ₂	0.78	3.10	3,023	0.10	1.08	10	●	-	-
36	78%UO ₂ +21%ZrO ₂	0.78	3.03	3,025	0.10	1.08	79	●	-	-
37	78%UO ₂ +21%ZrO ₂	0.78	3.22	3,018	0.10	1.1	77	●	-	-
45	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	3.09	3,105	0.10	1.14	4	●	-	-
46	78%UO ₂ +21%ZrO ₂	0.78	5.05	3,088	0.10	1.1	83	●	●	0.04 %
47	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	5.15	3,023	0.10	1.1	82	●	-	0.01 %
52	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	2.82	3,023	0.20	1.1	102	●	●	0.02 %
53	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	2.62	3,023	0.36	1.1	123	●	●	0.05 %

・●” あり, “-” なし

・エネルギー変換効率の“-”は報告書において評価値の記載されていないものである。

[1]財団法人 原子力安全研究協会「シビアアクシデント対策評価のための格納容器イベントツリーに関する検討」平成 13 年 7 月

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 3-3 KROTOS 実験の主要な実験条件及び実験結果 [3][4][6]

実験名	実験ケース	溶融物組成	溶融物質量 (kg)	溶融物温度 (K)	圧力 (MPa)	サブクール度 (K)	水深 (m)	外部ヒーター	水蒸気発生	溶融炉心レベル相違 (mm)
KROTOS	K38	Alumina	1.5	2465	0.1	79	1.11	No	Yes	1.15
	K40	Alumina	1.2	3073	0.1	83	1.11	No	Yes	0.9
	K41	Alumina	1.5	3073	0.1	5	1.11	No	No	-
	K42	Alumina	1.5	2465	0.1	80	1.11	No	Yes	1.9
	K43	Alumina	1.5	2475	0.21	100	1.11	No	Yes	1.9
	K44	Alumina	1.5	2473	0.1	10	1.11	Yes	Yes	2.8
	K49	Alumina	1.5	2488	0.37	120	1.11	No	Yes	2.2
	K50	Alumina	1.7	2473	0.1	13	1.11	No	No	-
	K51	Alumina	1.7	2748	0.1	5	1.11	No	No	-
	K32	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.0	3063	0.1	22	1.08	No	No	-
	K33	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.2	3063	0.1	75	1.08	No	No	-
	K35	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.1	3023	0.1	10	1.08	Yes	No	-
	K36	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.0	3025	0.1	79	1.08	Yes	No	-
	K37	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.2	3018	0.1	77	1.11	Yes	No	-
	K45	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.1	3108	0.1	4	1.14	Yes	No	-
K46	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	5.4	3086	0.1	83	1.11	Yes	Yes	-	
K47	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	5.4	3023	0.1	82	1.11	Yes	No	-	
K52	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	2.5	3133	0.2	102	1.11	Yes	Yes	0.02	
K53	80wt%UO ₂ -20wt%ZrO ₂	3.6	3129	0.36	122	1.11	Yes	Yes	0.05	

泊発電所3号炉

表 3.1-3 ALPHA 実験条件及び結果一覧 [1]

実験 ID	溶融物タイプ	UO ₂ 割合	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	雰囲気圧力 MPa	水深 n	サブクール度 K	水蒸気爆発	備考
002	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	84	●	
003	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	81	●	
005	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	73	●	
009	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	84	●	
018	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	78	●	
017	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	0.9	87	●	
018	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	0.9	90	●	
001	Fe+Al ₂ O ₃	0	10.0	2,723.15	0.1	1	80	-	溶融物半減
010	Fe+Al ₂ O ₃	0	10.0	2,723.15	0.1	1	76	●	溶融物半減
013	Fe+Al ₂ O ₃	0	10.0	2,723.15	0.1	1	89	-	溶融物半減
014	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	1	-	飽和水
008	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	1.8	1	188	-	高圧
012	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	1.8	1	184	-	高圧
015	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	1.0	1	171	-	高圧
025	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.5	0.9	145	●	高圧
006	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	75	-	溶融物分離器
011	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	83	●	溶融物分離器
019	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	0.9	82	●	溶融物分離器
020	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	1	82	-	溶融物分離器
021	Fe+Al ₂ O ₃	0	20.0	2,723.15	0.1	0.9	82	●	溶融物分離器
102	SUS	0	20.0	2,070	0.1	0.8	81	-	
103	SUS	0	20.0	1,950	0.1	0.8	0	-	
104	SUS	0	20.0	2,070	0.1	0.8	40	-	

[1] 社団法人 原子力学会「シビアアクシデント熱流動現象評価」平成 13 年 3 月

表 3.1-4 COTELS 実験条件及び結果一覧 [1]

実験 ID	UO ₂ 割合 %	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	雰囲気圧力 MPa	水深 n	サブクール度 K	水蒸気爆発
A-1	0.55	58.30	3,050	0.20	0.4	0	-
A-4	0.55	27.00	3,050	0.30	0.4	8	-
A-5	0.55	55.40	3,050	0.25	0.4	12	-
A-8	0.55	53.10	3,050	0.21	0.4	21	-
A-8	0.55	47.70	3,050	0.45	0.4	24	-
A-9	0.55	57.10	3,050	0.21	0.9	0	-
A-10	0.55	55.00	3,050	0.47	0.4	21	-
A-11	0.55	53.00	3,050	0.27	0.8	88	-

※ いずれも UO₂: 55wt%, Zr: 25wt%, ZrO₂: 5wt%, SS: 15wt%の混合物

[1] 社団法人 原子力学会「シビアアクシデント熱流動現象評価」平成 13 年 3 月

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 3-4 FAO 実験の主要な実験条件及び実験結果(4)

実験名	実験ケース	溶融物組成	溶融物質量 (kg)	溶融物温度 (K)	圧力(MPa)	サブクール度 (K)	水深 (m)	外部トリガー	水蒸気爆発発生	機械的エネルギー 変換効率(%)
FAO	L-08	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	19	2923	5	0	0.87	No	No	-
	L-08	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	44	3023	5.8	12	1.00	No	No	-
	L-11	77wt%NiO ₂ -19wt%ZrO ₂ -4wt%Zr	151	2923	5	2	2.00	No	No	-
	L-14	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	125	3123	5	0	2.00	No	No	-
	L-18	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	157	3073	5	1	1.10	No	No	-
	L-20	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	96	3173	2	0	1.97	No	No	-
	L-24	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	177	3023	0.5	0	2.02	No	No	-
	L-27	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	117	3023	0.5	1	1.47	No	No	-
	L-28	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	175	3052	0.5	1	1.44	No	No	-
	L-29	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	39	3070	0.2	97	1.48	No	No	-
	L-31	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	92	2990	0.2	104	1.45	No	No	-
	L-33	80wt%NiO ₂ -20wt%ZrO ₂	100	3070	0.4	124	1.60	Yes	No	-

表 3-5 COTELS 実験の主要な実験条件及び実験結果(7)

実験名	実験ケース	溶融物組成	溶融物質量 (kg)	圧力 (MPa)	サブクール度 (K)	水深 (m)	外部トリガー	水蒸気爆発発生	機械的エネルギー 変換効率(%)
COTELS	A1	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	56.3	0.20	0	0.4	No	No	-
	A4	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	27.0	0.30	8	0.4	No	No	-
	A5	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	55.4	0.25	12	0.4	No	No	-
	A6	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	53.1	0.21	21	0.4	No	No	-
	A8	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	47.7	0.45	24	0.4	No	No	-
	A9	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	57.1	0.21	0	0.9	No	No	-
	A10	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	55.0	0.47	21	0.4	No	No	-
	A11	55wt%NiO ₂ -25wt%Zr-5wt%ZrO ₂ -15wt%SS	53.0	0.27	86	0.8	No	No	-

(注) 溶融物温度は3000~3100Kと見積もられている(1)(9)(18)

泊発電所3号炉

実験 ID	実験 ケース	溶融物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶融物 質量(kg)	溶融物 温度(K)	サブクール 度(K)	水深(m)	外部トリガーの有無	水蒸気爆発 発生の有無	機械的エネルギー 変換効率(%)
TROI	1	60ZrO ₂ +18Zr	0	5	>3373	-	5	-	-	-
	2	60ZrO ₂ +18Zr	0	5.5	>3373	-	8	-	-	-
	3	60ZrO ₂ +18Zr	0	4.8	>3373	-	50	-	-	-
	4	60ZrO ₂ +18Zr	0	4.2	>3373	-	81	-	○	-
	5	88.5ZrO ₂ +1.5Zr	0	2.8	3373	-	38	-	○	-
	6	100ZrO ₂	0	4.3	>3373	-	81	-	○	-
	8	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	4.3	3200	-	77(*)	-	-	-
	10	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	8.7	3800	-	75(*)	-	○	-
	11	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	9.3	>3800	-	77(*)	-	-	-
	12	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	8.4	3800	-	80(*)	○	○	-
	13	60NiO ₂ +30ZrO ₂ +18Zr	0.68	7.7	2800	-	81	○	○	-
	14	60NiO ₂ +30ZrO ₂ +18Zr	0.80	8.5	3000	-	88	○	○	-
	15	60ZrO ₂ +18Zr	0	2.3	3750	-	83	○	○	-
	17	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	-	-	-	-	-	-	-
	18	78NiO ₂ +22ZrO ₂	0.78	9.1	-	-	-	-	-	-
	21	80NiO ₂ +20ZrO ₂	0.8	7.3	3000	-	75	-	-	-
22	80NiO ₂ +20ZrO ₂	0.8	9.8	2600	-	76	-	-	-	
23	80NiO ₂ +20ZrO ₂	0.8	10.4	3000	-	80	-	-	-	
24	100ZrO ₂	0	5.4	3800	-	86	○	○	-	
25	70NiO ₂ +30ZrO ₂	0.7	9.0	3500	-	88	○	-	-	
28	80NiO ₂ +20ZrO ₂	0.8	12.3	3300	-	90	○	-	-	
29	60NiO ₂ +30ZrO ₂	0.5	11.5	-	-	-	-	-	-	
32	87NiO ₂ +13ZrO ₂	0.87	-	-	-	-	-	-	-	
34	70NiO ₂ +30ZrO ₂ +18Zr	0.7	10.5	3870	-	82	○	○	0.83	
35	70NiO ₂ +29ZrO ₂ +18Zr	0.7	19.8	2680	-	39	○	○	0.21	
38	70NiO ₂ +29ZrO ₂ +18Zr	0.7	5.3	3510	-	68	○	○	0.50	
37	60NiO ₂ +30ZrO ₂ +18Zr	0.8	8.1	3380	-	80	○	○	0.01	
38	78NiO ₂ +22ZrO ₂ +18Zr	0.78	5.3	3650	-	85	-	-	-	
39	78NiO ₂ +20ZrO ₂ +18Zr	0.78	3.4	3780	-	88	○	○	-	

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 3-6 TROI 実験の主要な実験条件及び実験結果(1/2) [9][10][11][12]

実験名	実験ケース	溶融物組成 (%)	溶融物質量 (kg)	溶融物温度 (K)	圧力 (MPa)	水温度 (K)	水深 (m)	外部トワニー	水蒸気爆発発生	機械的エネルギー変換効率(%)
TROI	1	ZrO ₂ /Zr (99/1)	5	>3373	0.1	365	0.67	-	Steam Spike	-
	2	ZrO ₂ /Zr (99/1)	5.5	>3373	0.1	365	0.67	-	No	-
	3	ZrO ₂ /Zr (99/1)	4.88	>3373	0.1	323	0.67	-	No	-
	4	ZrO ₂ /Zr (99/1)	4.2	>3373	0.1	292	0.67	-	Yes	-
	5	ZrO ₂ /Zr (98.5/1.5)	2.9	3373	0.1	337	0.67	-	Yes	-
	9	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	4.3	3200	0.1	296	0.90	-	No	-
	10	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	8.7	3800	0.117	296	0.67	-	Yes	-
	11	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	9.2	>3800	0.111	296	0.67	-	No	-
	12	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	8.4	3800	0.111	293	0.67	-	Yes	-
	13	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	7.7	2600 ⁽¹⁾	0.108	292	0.67	-	Yes	0.40%
	14	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	6.5	3000 ⁽¹⁾	0.105	285	0.67	-	Yes	-
	17	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (78/22)	9.1	-	-	-	-	-	-	-
	21	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (80/20)	17.0	3000	0.110	296	1.30	No	No	-
	22	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (80/20)	17.0	2900	0.110	297	1.30	No	No	-
	23	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (80/20)	17.0	3600	0.110	293	1.30	No	No	-
	24	ZrO ₂	9.5	3600	0.110	288	0.67	No	Yes	-
	25	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (70/30)	15.0	3500	0.110	287	0.67	No	Steam Spike	-
	26	UO ₂ /Zr ₂ O ₇ (80/20)	17.0	3300	0.106	283	0.67	No	Steam Spike	-

(注1) 参考文献[19]によれば温度計測の問題があり、実験には3500K程度以上と推測されている。
 (注2) 参考文献[19]によれば二つの温度計が異なる最高温度(4000K、3200K)を示しており、計測の不確かさが大きいとされている。

表 3.1-5 TROI 実験条件及び結果一覧(UIC1914145181010111) (2/2)

実験 ID	実験	溶融物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	溶融物沸点温度 K	外部トワニーの有無	水蒸気爆発発生の有無	機械的エネルギーへの変換率(%)
40		70ZrO ₂ +30ZrO ₂	0.7	11.1	~3000	-	88(*)	-	-
43		63MO ₃ +27ZrO ₂ +10Fe	0.63	10.2	3880	-	77	○	-
44		63MO ₃ +27ZrO ₂ +10Fe	0.63	10.8	2880	-	78	-	-
45		100ZrO ₂	0	5.5	3280	-	84	○	-
46		70MO ₃ +30ZrO ₂	0.7	11.7	3550	-	88	○	-
47		63MO ₃ +27ZrO ₂ +10Fe	0.63	10.7	3030	-	79	○	-
48		70MO ₃ +30ZrO ₂	0.7	13.0	3800	-	38	○	-
48		62.3MO ₃ +18ZrO ₂ +11.7Zr+11Fe	0.63	18.0	3800	-	-	-	-
50		59.5MO ₃ +18ZrO ₂ +11.8Zr+10.6Fe	0.59	14.5	-	-	-	-	-
51		62.8MO ₃ +13.5ZrO ₂ +12.6Zr+11.1FeSS	0.628	6.3	3420	-	70	○	-
52		61.0MO ₃ +13.0ZrO ₂ +12.3Zr+10.8FeSS	0.61	8.8	2950	-	88	○	-

* 系の圧力が約0.1MPaであるため、373Kから水の温度を差し引いた値を記載。

- [1] V.Tyrpekl, "Material effect in the fuel coolant interaction : structural characterization and solidification mechanism," 2012 (ID:全版)
 [2] J.H.Song, et al., "Experiments on the interactions of molten ZrO₂ with water using TROI facility," Nuclear Engineering and Design, 213, 2002 (ID: 1, 2, 3, 4, 5)
 [3] J.H.Song, et al., "Spontaneous steam explosions observed in the fuel coolant interaction experiments using reactor materials," Journal of the Korean Nuclear Society, Volume 33, Number 4, 2002 (ID: 6)
 [4] J.H.Song, et al., "Fuel coolant interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture," Nuclear Engineering and Design, 222, 2003 (ID: 8, 10, 11, 12)
 [5] J.H.Song, et al., "Insights from the recent steam explosion experiments in TROI," Journal of Nuclear science and Technology, Volume 40, Number 10, 2003 (ID: 13, 14, 15)
 [6] J.H.Kim, et al., "The Influence of Variations in the water depth and melt composition on a spontaneous steam explosion in the TROI experiments," Proceedings of ICAPP '04, Pittsburgh, PA USA, June 13-17, 2004 (ID: 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28)
 [7] J.H.Kim, et al., "Results of the triggered steam explosions from the TROI experiment," Nuclear Technology, Volume 158, 2007 (ID: 34, 35, 36, 37)
 [8] J.H.Kim, et al., "Triggered steam explosions in a narrow interaction vessel in the TROI facility," 2005 (ID: 38, 39)
 [9] J.H.Kim, et al., "Steam explosion experiments with iron-added corium in the TROI facility," Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Chunchon, Korea, May 25-26, 2008 (ID: 45, 46, 47)
 [10] J.H.Kim, et al., "Steam explosion experiments using nuclear reactor materials in the TROI facilities," Heat Transfer Engineering, 29(8), 2008 (ID: 45, 48, 47, 48)
 [11] J.H.Kim, et al., "Steam explosion experiments using partially oxidized corium," Journal of Mechanical Science and Technology, 22, 2008 (ID: 51, 52)

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶解炉心と冷却材の相互作用について）

表 3-6 TROI 実験の主要な実験条件及び実験結果(2/2) (8) (9) (10) (20)

実験名	実験ケース	溶解物組成 (%)	溶解物質量 (kg)	溶解物温度 (K)	圧力 (MPa)	水温度 (K)	水深 (m)	外部トリガー	水蒸気発生	機械的エネルギー変換効率(%)
TROI	29	UO ₂ /ZrO ₂ (50/50)	11.5					-	No	-
	32	UO ₂ /ZrO ₂ (87/13)						-	No	-
	34	UO ₂ /ZrO ₂ (70/30)	10.5	~3000		341	0.67	Yes	Yes	0.63
	35	UO ₂ /ZrO ₂ (70/30)	8	~3000	0.110	334	1.30	Yes	Yes	0.21
	36	UO ₂ /ZrO ₂ (70/30)	5.3	~3000		306	0.95	Yes	Yes	0.50
	37	UO ₂ /ZrO ₂ (78/22)	8.1	~3000	0.104	313	0.95	Yes	Yes	0.01
	38	UO ₂ /ZrO ₂ (78/22)	5.3	~3000	0.106	288	1.30	-	No	-
	39	UO ₂ /ZrO ₂ (78/22)	3.4	~3000	0.106	285	1.30	-	No	-
	40	UO ₂ /ZrO ₂ (70/30)	11.1	~3000	0.312	287	1.30	-	No	-
	49	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr/Fe (62.3/15/11.7/11)	15.96	2730(3360)					-	-
	50	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr/Fe (59.5/18/11.9/10.6)	14.46						-	-
	51	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr/Fe (60.5/16.7/12.1/10.7)	6.3 (14.2 load)	2695(3420)	0.115	294	1.30	Yes	Yes	-
52	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr/Fe (61/16/12/11)	8.6 (14.1 load)	2650	0.116	285	1.30	Yes	Steam Spike	-	

(注1) 参考文献[19]によれば温度計測に問題があり、実際には3500K程度以上と推測されている。
 (注2) 参考文献[19]によれば二つの温度計が異なる最高温度(4000K、3200K)を示しており、計測の不確かさが大きいとされている。

泊発電所3号炉

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 3-7 SERENA 実験 (フェーズ2) の主要な実験条件及び実験結果 [22]

実験名	実験ケース	溶解物組成 (wt%)	溶解物質量 (kg)	溶解物温度 (K)	圧力 (MPa)	水温度 (K)	水深 (m)	外部トリガー	水蒸気爆発発生	機械的エネルギー変換効率 (%)
SERENA (TROI/KROTOS)	TS-1	UO ₂ /ZrO ₂ (73.4/26.6)	15.4	~3000	0.4	301	1.0	Yes	Yes	0.12
	TS-2	UO ₂ /ZrO ₂ (88.0/32.0)	12.5	3063	0.2	334	1.0	Yes	Yes	0.28
	TS-3	UO ₂ /ZrO ₂ (71.0/29.0)	15.9	3107	0.2	331	1.0	Yes	Yes	0.22
	TS-4	UO ₂ /ZrO ₂ (81.0/19.0)	14.3	3011	0.2	333	1.0	Yes	Yes	0.35
	TS-5	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr/U (76.0/18.3/5.0/0.7)	17.9	2940	0.2	337	1.0	Yes	Steam Spike	0.06
SERENA (TROI/KROTOS)	TS-6	UO ₂ /ZrO ₂ /Fe ₂ O ₃ /FP (73.3/18.5/4.9/3.3)	9.3	2910	0.2	338	1.0	Yes	Yes	0.66
	KS-1	UO ₂ /ZrO ₂ (70.0/30.0)	2.4	2969	0.4	302	1.1	Yes	Yes	0.10
	KS-2	UO ₂ /ZrO ₂ (70.0/30.0)	3.9	3049	0.2	333	1.1	Yes	Yes	0.08
	KS-3	UO ₂ /ZrO ₂ (70.0/30.0)	0.8	2850	-	332	1.1	Yes	_(注1)	_(注1)
	KS-4	UO ₂ /ZrO ₂ (80.0/20.0)	2.3	2958	0.2	332	1.1	Yes	Yes	0.18
KS-5	UO ₂ /ZrO ₂ /Zr (80.1/11.4/8.5)	1.7	2864	0.2	327	1.1	Yes	Energetic event (注2)	_(注2)	
KS-6	UO ₂ /ZrO ₂ /Fe ₂ O ₃ /FP (75.0/20.4/4.1/2.5)	1.7	2853	0.2	340	1.1	Yes	Yes	~0	

(注1) 実験失敗
 (注2) 計画失敗

泊発電所3号炉

実験 ID	溶解物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶解物 質量 (kg)	溶解物 温度 (K)	溶解物 過熱度 (K)	炉心温度 (K)	外部トリガーの有無	水蒸気爆発発生の有無	機械的エネルギーへの変換効率 (%)
TROI	TS-1	73.4%UO ₂ +26.6%ZrO ₂	15.4	~3000	145	115.9	○	○	0.12
	TS-2	68.0%UO ₂ +32.0%ZrO ₂	12.5	3063	228	81.7	○	○	0.28
	TS-3	71.0%UO ₂ +29.0%ZrO ₂	15.9	3107	272	85.1	○	○	0.22
	TS-4	81.0%UO ₂ +19.0%ZrO ₂	14.3	3011	301	171	64.0	○	0.35
	TS-5	76.0%UO ₂ +18.3%ZrO ₂ +5.0%Zr+0.7%U	17.9	2940	294	140	57.7	○	0.06
	TS-6	73.3%UO ₂ +18.5%ZrO ₂ +4.9%Fe ₂ O ₃ +3.3%FP	9.3	2910	291	259	96.9	○	0.66
KROTOS	KS-1	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	2.4	2969	109	118	○	○	0.10
	KS-2	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	3.9	3049	189	60	○	○	0.08
	KS-3	70%UO ₂ +30%ZrO ₂	0.8	2850	-	-	-	-	-
	KS-4	80%UO ₂ +20%ZrO ₂	0.8	2958	38	62	○	○	0.18
	KS-5	80.1%UO ₂ +11.4%ZrO ₂ +6.5%Zr	1.7	2864	64	67	○	○	-
KS-6	75%UO ₂ +20.4%ZrO ₂ +4.1%Fe ₂ O ₃ +2.5%FP	1.7	2853	182	54	○	○	~0	

[1] OECD/SERENA Project Report - Summary and Conclusions, NEA/CSNI/R(2014)15.

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉						泊発電所3号炉						相違理由
表 3-8 TROI 実験と実機条件の比較						表 3.2-1 TROI 実験と実機条件の比較						
実験ケース	溶融物温度 (過熱度) ^(注1)	溶融 ジェット径	水深	粒子化割合 ^(注2)	水蒸気爆発	実験 ID	溶融物温度	ジェット径	水深	粒子化割合 (注)	水蒸気爆発	
TROI-10	3800K (900K)	6.5cm	0.67m	約 60%	Yes	10	3800K	6.5cm	0.67m	約 60%	○	
TROI-12	3800K (900K)	6.5cm	0.67m	約 60%	Yes	23	3600K	7.4cm	1.3m	約 80%	—	
TROI-23	3600K (700K)	7.4cm	1.30m	約 80%	No	25	3500K	8.0cm	0.67m	約 50%	圧力スパイク	
TROI-25	3500K (600K)	8.0cm	0.67m	約 50%	Steam Spike	実機条件	~2700K	4~40cm	1.5m~	約 20~100%	N/A	
実機条件	~2600K (~300K)	5~15cm	2.0m~	約 60~100%	—	(注) Ricou-Spalding 相関式 (図 3.2-1) による概略評価値。						
(注1) 実験条件の過熱度は UO_2/ZrO_2 の相図 ^[21] より固相線温度を約 2900K とした場合の概算値 実機条件の過熱度は事故解析結果による下部プレナム部の溶融物（酸化物質）の過熱度の概算値 (注2) Ricou-Spalding 相関式 (図 3-11) による概算評価値												

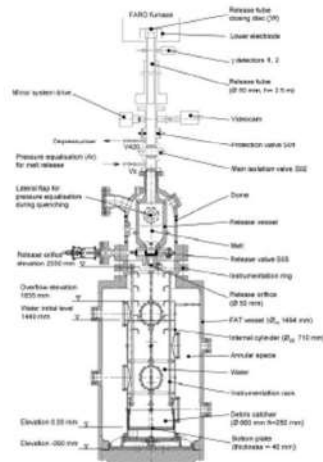
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

女川原子力発電所2号炉

【参考のため掲載順を入替え】



出典：参考文献^[4] p.1999 Fig.1

図3-5 FARO 実験装置の概要

泊発電所3号炉

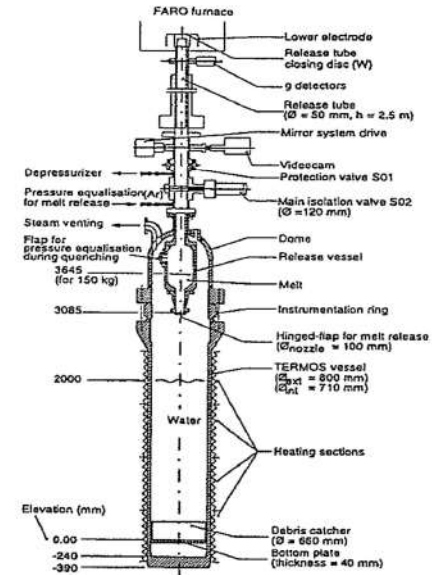
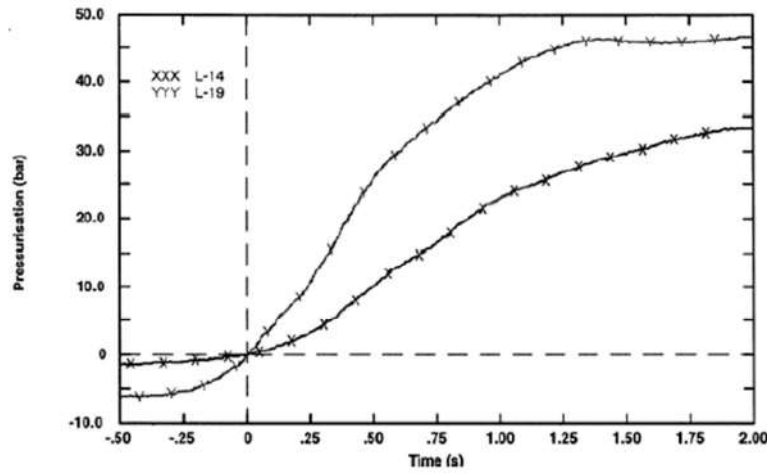


図3.1-1 FARO 実験装置

相違理由



出典：参考文献^[6] p.229 Fig.6

図3-6 FARO 実験の圧力変化の例 (L-14, L-19)

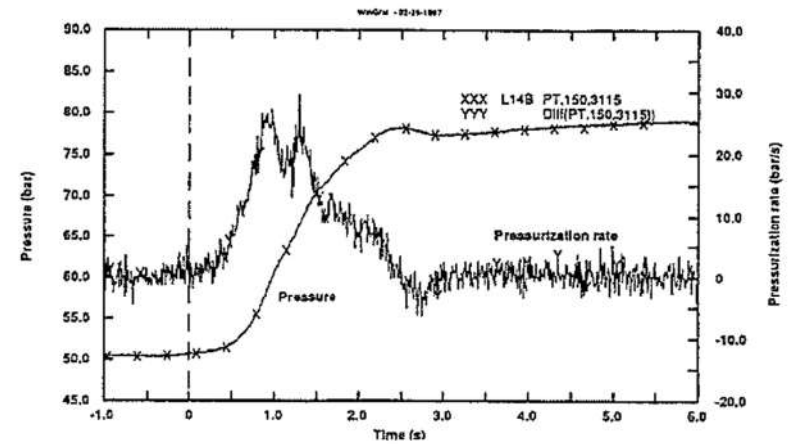


図3.1-2 FARO 実験代表的圧力変化 (L-14)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

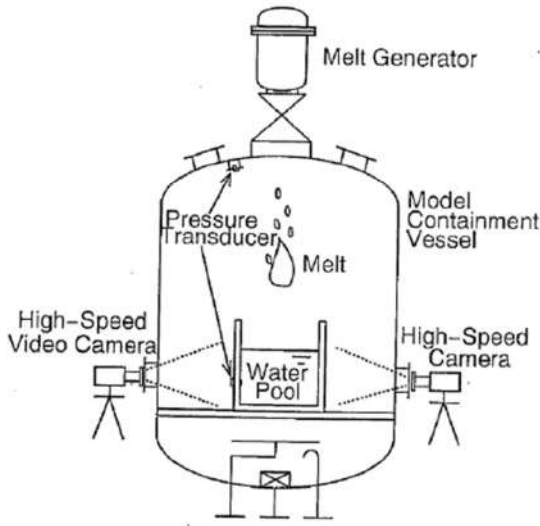
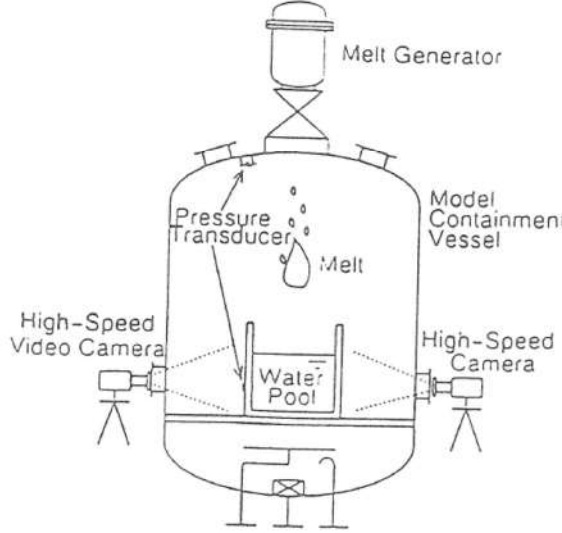
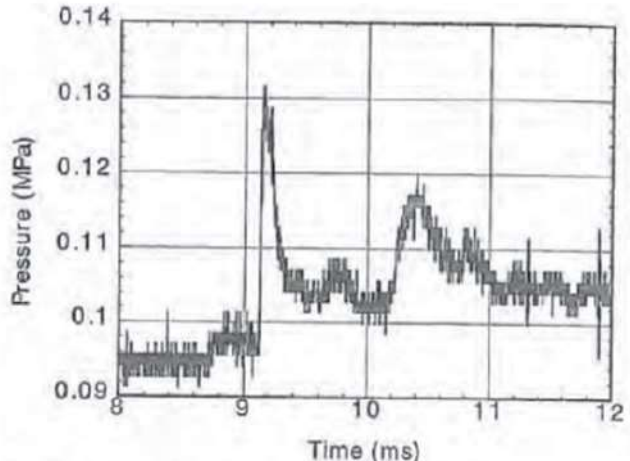
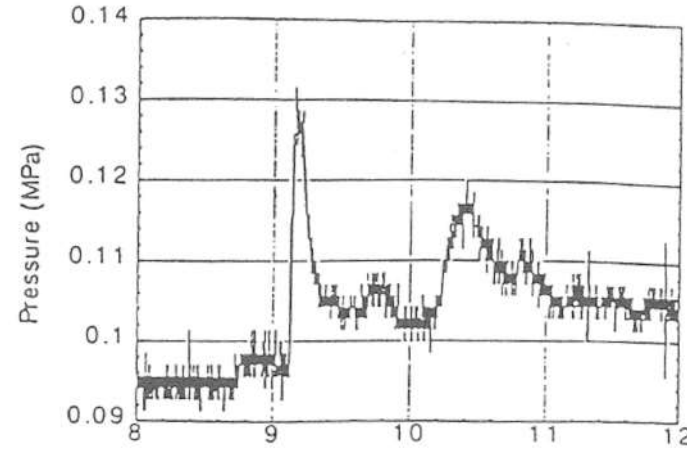
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>出典：参考文献^[3] p. 380 Fig. 1</p>	<p>図 3. 1-3 KROTOS 実験装置</p>	
<p>出典：参考文献^[3] p. 385 Fig. 3</p>	<p>図 3. 1-4 KROTOS 実験代表的圧力変化（ケース 37 及び 42）</p>	
<p>図 3-4 KROTOS 実験の代表的圧力変化の例（K-37, K-42）</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

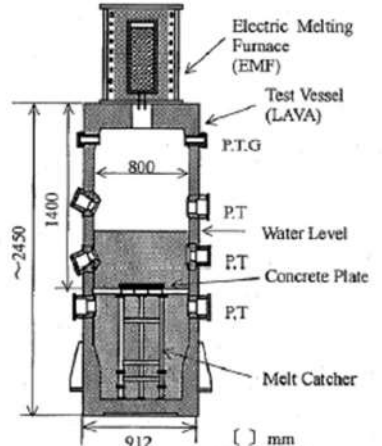
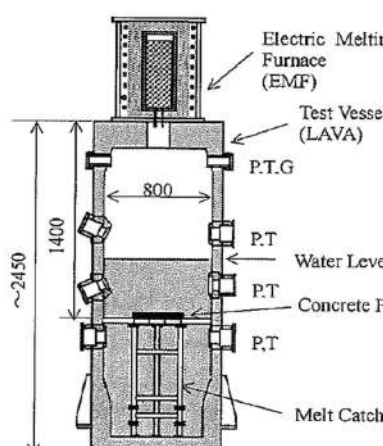
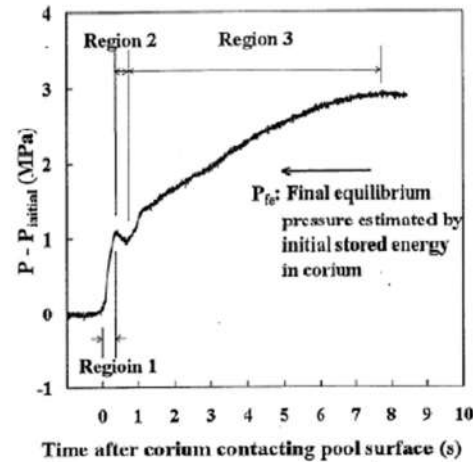
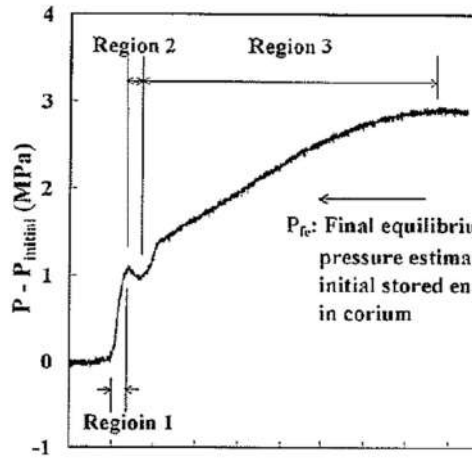
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p data-bbox="436 750 728 774">出典：参考文献^[2] p. 371 Fig. 1</p>	 <p data-bbox="1388 782 1635 805">図 3.1-5 ALPHA 実験装置</p>	
<p data-bbox="459 813 728 837">図 3-1 ALPHA 実験装置の概要</p>  <p data-bbox="436 1356 772 1380">出典：参考文献^[2] p. 380 Fig. 8</p> <p data-bbox="392 1396 795 1420">図 3-2 ALPHA 実験の圧力評価の例 (STX016)</p>	 <p data-bbox="1310 1396 1713 1420">図 3.1-6 ALPHA 実験代表的圧力変化 (016)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>P: Pressure, T: Temperature, G: Gas sampling line</p> <p>出典：参考文献^[7] p. 37 Fig. 1</p> <p>図 3-7 COTELS 実験装置の概要</p>	 <p>P: Pressure, T: Temperature, G: Gas sampling line</p> <p>図 3. 1-7 COTELS 実験装置</p>	
 <p>出典：参考文献^[7] p. 38 Fig. 2</p> <p>図 3-8 COTELS 実験の圧力変化の例 (A1)</p>	 <p>図 3. 1-8 COTELS 実験代表的圧力変化 (A-1)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由												
<p>Effect of corium mass or pool depth</p> <p>Effect of subcooling or non-condensable gas</p> <p>Effect of velocity</p> <p>MMD(mm)</p> <table border="1"> <tr><td>A1</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>A8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>A10</td><td>0.38</td></tr> </table> <p>出典：参考文献^[7] p. 38 Fig. 3</p>	A1	6.7	A8	5.2	A10	0.38	<p>Effect of corium mass or pool depth</p> <p>Effect of subcooling or non-condensable gas</p> <p>Effect of velocity</p> <p>MMD(mm)</p> <table border="1"> <tr><td>A1</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>A8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>A10</td><td>0.38</td></tr> </table> <p>出典：参考文献^[7] p. 38 Fig. 3</p>	A1	6.7	A8	5.2	A10	0.38	
A1	6.7													
A8	5.2													
A10	0.38													
A1	6.7													
A8	5.2													
A10	0.38													
<p>図3-9 COTELS 実験の各実験ケースの圧力変化</p>	<p>図3.1-9 COTELS 実験各ケースの圧力変化</p>													

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

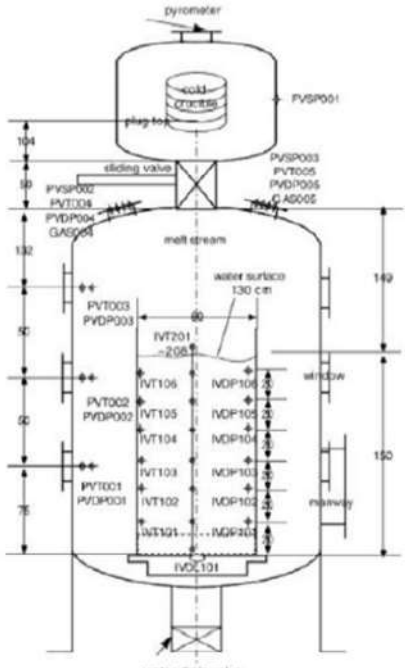
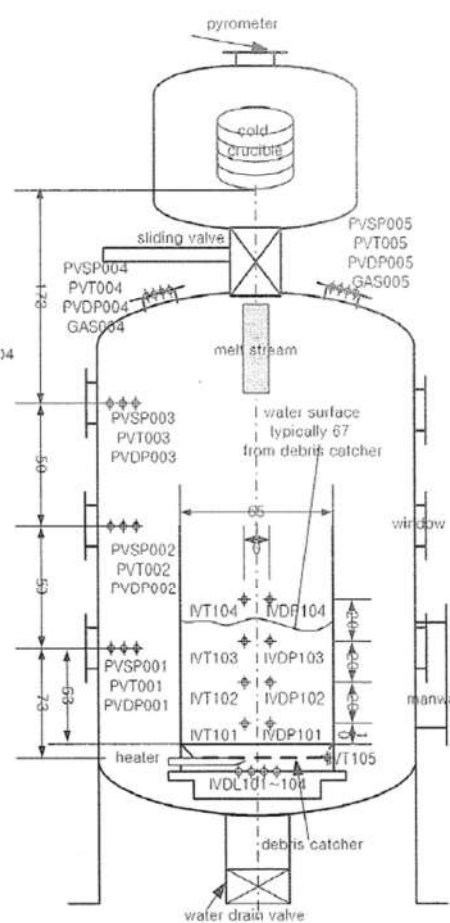
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>2. set up (surely from TROI-50 experiment)</p> <p>出典：参考文献^[8] Appendix B. p.202</p>		

図 3-10 TROI 実験装置の概要

図 3.1-10 TROI 実験装置

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="170 201 1032 715" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="322 713 844 740" data-label="Caption"> <p>図 3-11 Ricou-Spalding 相関式による粒子化割合のマップ</p> </div> <div data-bbox="636 831 1001 911" data-label="Text"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1077 201 1939 687" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1209 689 1789 718" data-label="Caption"> <p>図 3.2-1 Ricou-Spalding 相関式による粒子化割合のマップ</p> </div> <div data-bbox="1070 724 1935 790" data-label="Text"> <p>出典：(財) 原子力安全研究協会「シビアアクシデント対策評価のための格納容器イベントツリーに関する検討」平成13年7月</p> </div> <div data-bbox="1630 847 1939 911" data-label="Text"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. 不確かさに関する整理</p> <p>ここでは原子炉圧力容器外FCIについて、有効性評価の不確かさ評価を行う。なお、前項で述べたように、原子炉圧力容器外FCIにおける水蒸気爆発の発生可能性は低いことから、ここでは圧力スパイクの評価について検討する。</p> <p>前項で示した既存FCI実験の知見の整理より、原子炉圧力容器外FCIの圧力スパイクに影響する因子の分類として以下が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器下部（ペDESTAL）領域のプール水の状態（サブクール度、水位） ・溶融炉心の落下量及び粒子化（破損口径、粒子化割合、落下速度） ・プール水とデブリ粒子との伝熱（デブリ粒子径） <p>また、実機体系では原子炉圧力容器下部領域の圧力変化が原子炉格納容器のドライウェル空間に伝播される現象を伴うことから、影響因子として以下を追加する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器内での水蒸気の流動 <p>上記の影響因子の不確かさに対する感度解析を行うために、各影響因子の不確かさを解析モデルで考慮する方法について以下に示す。</p> <p>(1) 格納容器下部（ペDESTAL）領域のプール水の状態（サブクール度、水位）</p> <p>圧力容器下部のペDESTAL領域の水温が高い場合には、水蒸気発生量が多くなり圧力スパイクは厳しくなる。なお、MAAPでは、蒸気の上昇速度がフラディング臨界速度よりも大きい場合には、周囲の水が蒸気の流れによって巻き込まれ、巻き込まれた水蒸気の凝縮により蒸気発生量が減少する効果がモデル化されている。ペDESTAL領域の水は、ペDESTALへの注水によって形成されるので、その水温はペDESTAL注水温度に影響される。有効性評価では、ペDESTAL注水は外部水源から注水され、その水温は水源温度の実績値に対して高めの温度を設定している。したがって、圧力スパイクを厳しくする保守的な水温を設定しているが、本影響因子は解析モデルパラメータではないため、不確かさ評価は行わない。</p>	<p>4 不確かさに関する整理</p> <p>原子炉容器外 FCI について、実現象と解析モデルの差に着目しつつ、不確かさの整理を行う。なお、前項で述べたように、原子炉容器外 FCI における水蒸気爆発の発生可能性は低いことから、ここでは、圧力スパイクの観点で整理を行う。</p> <p>前述のとおり FCI は、細粒化した溶融炉心（デブリ粒子）により原子炉下部キャビティ水が加熱される際に水蒸気が発生し、圧力上昇（圧力スパイク）を引き起こす現象である。したがって、水の状態、溶融炉心の状態及びこれらの相互作用として分けて考えることができることから、原子炉容器外 FCI 現象の影響因子としては、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉下部キャビティ水温及び水量 ・溶融炉心の落下量（落下速度）と細粒化量 ・原子炉下部キャビティ水とデブリ粒子の伝熱 <p>として分類できる。また、水蒸気発生後の圧力上昇に関しては、原子炉下部キャビティ区画の圧力変化が原子炉格納容器上部区画に伝播される挙動であることから、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器内での水蒸気の流動 <p>についても不確かさの要因として考えられる。</p> <p>以下、それぞれに関して、MAAP コードの解析モデル上の取扱いを踏まえ、考え方を整理する。また、表 4-1 に原子炉容器外 FCI の不確かさに関する整理結果を示す。図 4-1 に以下について整理した流れ図を示す。</p> <p>(1) 原子炉下部キャビティ水温及び水量</p> <p>原子炉下部キャビティ水温が高い場合（＝サブクール度が小さい場合）には、水蒸気発生が促進され、圧力スパイクの観点では厳しい方向となる。原子炉下部キャビティ水は、1 次冷却系から放出された冷却水とスプレイ水が混合したものであり、これらの質量及びエネルギーバランスより、原子炉下部キャビティ水温が決定される。1 次冷却系から放出された冷却水の初期状態は、プラント設計に基づき設定されるものである。一方、スプレイ水は、再循環前は RWST を水源とし、再循環後はサンプル水から熱交換器を通して得られた水温が使用される。ここで、有効性評価の解析では RWST の水温を、現実的な範囲内で高めの値である夏季温度を設定している。したがって、不確かさが存在する場合でも、原子炉下部キャビティ水温は、解析で仮定した条件よりも低くなる方向であり、水蒸気の大量発生観点から、不確かさは問題とならない。また、事象による違いとして、有効性評価では原子炉格納容器破損シーケンスとして大破断 LOCA+ECCS 注入失敗+CV スプレイ注入失敗及び全交流動力電源喪失+補助給水失敗を選定している。3 ループプラントを対象に、これらのシーケンスに対する原子炉下部キャビティ水温の比較図を図 4-2 に示す。上記のように、大破断 LOCA では高温の 1 次冷却系からの破断流が初期より原子炉下部キャビティに放出されるため原子炉下部キャビティ水温はより早期に上昇する。全交流動力電源喪失では主に代替格納容器スプレイから注水されるため初期の温度は低い。原子炉容器破損までの時間が長いことから、次第に飽和温度に近づいていく。結果として、原子炉容器破損時点での原子炉下部キャビティ水温はほぼ同程度であるが、全交流動力電源喪失では原子炉容器破損が遅いことから、原子炉容器破損時点での原子炉格納容器圧力も高めと</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>ペDESTAL領域の水位に対しては、水深が深いほうが熔融炉心の細粒化量が大きくなる傾向がある。この場合、細粒化した粒子から水への伝熱量が多くなるので、圧力スパイクは厳しくなる方向である。本影響因子は解析モデルパラメータではないため、不確かさ評価は行わない。</p> <p>(2) 熔融炉心の落下量及び粒子化（破損口径、粒子化割合、落下速度）</p> <p>熔融炉心の落下量は、原子炉圧力容器の破損口径に依存する。原子炉圧力容器の破損は、原子炉圧力容器下部の制御棒駆動機構ハウジングの溶接部が破損し、制御棒駆動機構ハウジングが逸出することを想定している。原子炉圧力容器底部の口径が大きい貫通部として制御棒駆動機構ハウジングを想定している。なお、MAAPでは熔融物流出に伴う破損口の径方向侵食による破損口拡大も考慮されている。</p> <p>細粒化量に関して、MAAPではRicou-Spalding式で評価される。Ricou-Spalding式では、エントレインメント量（細粒化量）を流入流体の速度（ジェット速度）と両流体の密度比に関連させたモデルであり、液-液混合問題において広く利用されている相関式である。落下する炉心熔融物は円柱ジェットで冷却材中に突入することを想定し、円柱ジェット外周部の侵食として粒子化割合を評価している。円柱ジェットのエントレインメント速度（m/s）は、次式で与えている。</p>	<p>なっており、サブクール度は大破断LOCAの方が小さい。以上より、圧力スパイクの観点で大破断LOCAの方が厳しいと言える。なお、MAAPコードでは、デブリ粒子の熱エネルギーは水蒸気生成に費やされる熱量と水に伝熱する熱量に分けられ、水蒸気生成に費やされる熱量は系の圧力とサブクール度から計算される。また、気泡の上昇速度が臨界速度よりも大きい場合には、周囲の水が気泡の流れによって巻き込まれ、巻き込まれた水に気泡の水蒸気が凝縮することもモデル化されている。</p> <p>一方、原子炉下部キャビティ水位に関しては、水深が深い方が、熔融炉心の細粒化量が多くなる傾向がある。MAAPコードの解析モデルでは、原子炉格納容器内の流動は、ノード-ジャンクションモデルによって、ブローダウン水、スプレイ水等の原子炉下部キャビティへの流入量を計算し、原子炉下部キャビティの幾何形状に基づき、水位（水深）を計算している。即ち、原子炉格納容器形状とスプレイ開始のタイミング（事故シーケンス）で決まる。原子炉格納容器形状に関してはプラント設計データにより設定されることから不確かさは小さい。一方で、熔融炉心の落下時にも原子炉下部キャビティへの注水が継続した状態であることから、原子炉下部キャビティへの注水や熔融炉心の落下のタイミングによっては、原子炉下部キャビティ水深が変化し得ることから、事故シーケンスに基づく不確かさは存在すると考えられる。したがって、原子炉下部キャビティ水深の感度を確認する。</p> <p>(2) 熔融炉心の落下量（落下速度）と細粒化量</p> <p>熔融炉心の落下量及び落下速度は、原子炉容器の破損口径と破損時の1次冷却材圧力及び下部プレナム内の熔融炉心水頭に依存する。</p> <p>原子炉容器の破損口径に関しては、原子炉容器下部ヘッドに貫通部が存在し、主たる破損モードは、貫通部（計装案内管）の溶接部が破損し、貫通部程度の開口が生じるものと仮定している。したがって、破損の際、貫通部と同等の破損口が形成されるのか貫通部の周辺も熔融破損するのかわきについては不確かさがあることから、破損口径の感度を確認する必要がある。なお、原子炉容器破損形態に関しても、不確かさが存在するが、破損口径として整理できる。</p> <p>1次冷却材圧力に関して、圧力が高ければ原子炉容器下部ヘッド破損口からの熔融炉心の落下（噴出）を加速させる傾向がある。炉心熔融時に1次冷却材圧力が高い状態の重要事故シーケンスにおいては、炉心損傷検知後の運転員等操作による加圧器逃がし弁の開放に伴い、熔融炉心の落下前に、1次冷却系は十分に減圧された状態となる。</p> <p>細粒化量に関して、MAAPコードでは、Ricou-Spaldingの式から細粒化量を計算している。Ricou-Spaldingモデルは、エントレインメント量（細粒化量）を流入流体の速度（ジェット速度）と両流体の密度比に関連させたモデルであり、液液混合問題において広く利用されている相関式である。落下する炉心熔融物は円柱ジェットで冷却材中に突入することを想定し、円柱ジェット外周部の侵食として粒子化割合を評価している。円柱ジェットのエントレインメント速度（m/s）は、次式で与えている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
$m_{ent} = E_0 \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} u_{dj} \quad (1)$ <p>ここで、E_0：エントレインメント係数 u_{dj}：ジェット速度 [m/s] ρ_{dj}：ジェット密度 [kg/m³] ρ_w：水密度 [kg/m³]</p> <p>水中でのジェット速度を一定と仮定し、水面から垂直方向に積分すると、プール底部（水深； ΔH_{pool}）におけるジェット直径が(2)式のように得られる。</p> $d_{dj} = d_{dj,o} - 2E_0 \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} \Delta H_{pool} \quad (2)$ <p>(2)式を用いて、溶融ジェット断面の減少分が粒子化割合であるため、粒子化割合 Φ_{ent} は次式のように計算される。</p> $\Phi_{ent} = \frac{d_{dj,o}^2 - d_{dj}^2}{d_{dj,o}^2} \quad (3)$ <p>以上の評価式において、デブリ粒子化割合に影響するパラメータは、エントレインメント係数、初期デブリ直径、圧力（僅かではあるが水の密度に影響）及びプール水深である。このうち溶融物ジェット径は保守的に設定しており、また、プール水深は解析モデルパラメータではない。</p>	$m_{ent} = E_0 \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} u_{dj} \quad (1)$ <p>ここで、E_0：エントレインメント係数 u_{dj}：ジェット速度[m/s] ρ_w：ジェット密度[kg/m³] ρ_{dj}：水密度[kg/m³]</p> <p><u>水中でのジェット速度を一定と仮定し、水面から垂直方向に積分すると、プール底部（水深； ΔH_{pool}）におけるジェット直径が(2)式のように得られる。</u></p> $d_{dj} = d_{dj,o} - 2E_0 \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} \Delta H_{pool} \quad (2)$ <p><u>(2)式を用いて、溶融ジェット断面の減少分が粒子化割合であるため、粒子化割合 Φ_{ent} は次式のように計算される。</u></p> $\Phi_{ent} = \frac{d_{dj,o}^2 - d_{dj}^2}{d_{dj,o}^2} \quad (3)$ <p><u>以上の評価式において、デブリ粒子化割合に影響するパラメータは、エントレインメント係数、初期デブリ直径、圧力（僅かではあるが水の密度に影響）及びプール水深である。このうち溶融物ジェット径は保守的に設定しており、また、プール水深は解析モデルパラメータではない。</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>エントレインメント係数については、MAAPでは代表的なFCIの大規模実験であるFARO実験に対するベンチマーク解析によって範囲を設定しており、推奨範囲は□～□となっているため、粒子化量の不確かさとしてエントレインメント係数の感度を確認する。FARO実験条件は、水プールの水深は0.87～2.05m、水プールのサブクール度は飽和～124K、雰囲気圧力条件は2～5.8MPa（高圧条件）、0.2～0.5MPa（低圧条件）の範囲で行われており、一方、実機条件では、格納容器下部の水位は2～4m程度、格納容器下部内の冷却材のサブクール度は、飽和～90K程度、雰囲気圧力は0.2MPa[abs]程度であることを考慮すると、実験条件は有効性評価解析の特徴的な条件をおおむね包絡しており、ベンチマーク解析で検討されたエントレインメント係数の範囲で感度を確認すれば十分といえる。</p> <p>溶融炉心の落下速度は、原子炉圧力容器内外の圧力差、溶融炉心の高さ（水頭）及び溶融炉心の落下距離に依存する。原子炉減圧により原子炉圧力容器内外の圧力差が十分小さくなることから、圧力差の不確かさの影響は小さい。また、有効性評価では原子炉圧力容器の下部プレナム部に全量に近い溶融炉心が堆積しており、原子炉圧力容器の破損位置も原子炉圧力容器底部中心となっているため、溶融炉心の水頭が高い状態となっている。この場合、溶融炉心の流出速度が大きく落下量も多くなるため、圧カスパイクの評価も厳しくなる。したがって、溶融炉心の水頭の不確かさ評価は必要ない。一方、落下距離については、プール水位に不確かさがある。BWR5、Mark-I改良型格納容器プラントの例では、落下距離の不確かさをプール水位の最大変動幅（3.4m）と仮定すると、ペDESTAL底部から原子炉圧力容器底部までの距離（約9.5m）の4割程度である。溶融炉心の落下速度が、落下距離の平方根に比例すると考えると、落下速度の不確かさは2割程度である。式(1)より溶融炉心の落下速度（ジェット速度）の不確かさはエントレインメント係数の不確かさとして評価できる。また、落下速度の不確かさはエントレインメント係数の不確かさ幅に包絡されている。したがって、溶融炉心の落下速度の不確かさの影響は、エントレインメント係数の不確かさ評価で確認できるため、落下速度の不確かさ評価は行わない。</p> <div data-bbox="607 1321 1010 1406" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> 本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	<p>エントレインメント係数E_0について、MAAPコードではFCIの大規模実験に対するベンチマーク解析によって、その範囲を設定しており、有効性評価の解析ではその中間的な値（最確値）を設定している。ここで、エントレインメント係数の最大値は最確値よりも約□割大きく設定されているため、不確かさとしては約□割を見込む。</p> <p>一方、溶融炉心落下速度は、原子炉容器内外圧力差と溶融炉心の水頭から計算される。大破断LOCAシーケンスでは、原子炉容器内外圧力差は大きくなく、不確かさも小さいと考えられるが、溶融炉心水頭については、原子炉容器の破損位置により不確かさがある。原子炉容器の破損位置は、原子炉容器下部プレナムのノード代表点で表されるため、溶融炉心上面から破損口までの高さとして0.8m～1.2m、即ち約5割の不確かさ幅がある。溶融炉心落下速度は、溶融炉心水頭の平方根に比例することから、落下速度の不確かさ幅は約2割となる。</p> <p>以上より、落下速度の不確かさ幅はエントレインメント係数の不確かさ幅に包絡されることから、溶融炉心落下速度の不確かさの影響は、細粒化量の不確かさとして整理することとし、溶融炉心落下速度の不確かさの影響も含めて、エントレインメント係数E_0に関して感度を確認する。</p> <div data-bbox="1592 1321 1899 1390" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> 枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) プール水とデブリ粒子との伝熱（デブリ粒子径）</p> <p>水中でエントレインされた高温のデブリ粒子は、その周囲を蒸気膜が覆う状態となり、デブリ粒子の熱伝達は膜沸騰熱伝達と輻射熱伝達に支配される。MAAPではエントレインメントしたデブリ粒子の温度を、これらの熱伝達を考慮した機構論的モデルにより計算する。また、デブリ粒子から水への伝熱は、デブリ粒子の径に直接依存する。MAAPでは、デブリ粒子径はジェットの影響に依存するモデルにより計算される。デブリ粒子径の導出式には、粒子径ファクタ（モデルパラメータ）が乗じられている。</p> <p>デブリの粒子径ファクタについては、MAAPでは代表的なFCIの大規模実験に対するベンチマーク解析によって範囲を設定しており、原子炉压力容器下部プレナム部に対して推奨範囲は□～□となっているため、デブリ粒子の伝熱の不確かさは粒子径の不確かさとして考慮する。FARO 実験条件は、水プールの水深は0.87～2.05m、水プールのサブクール度は飽和～124K、雰囲気圧力条件は2～5.8MPa（高圧条件）、0.2～0.5MPa（低圧条件）の範囲で行われており、一方、実機条件では、格納容器下部の水位は2～4m程度、格納容器下部内の冷却材のサブクール度は、飽和～90K程度、雰囲気圧力は0.2MPa[abs]程度であることを考慮すると、実験条件は有効性評価解析の特徴的な条件をおおむね包絡しており、ベンチマーク解析で検討された範囲で感度を確認すれば十分といえる。</p> <p>(4) 原子炉格納容器内での水蒸気の流動</p> <p>FCIによる圧力スパイクの評価の観点では、ペDESTAL領域の開口部からドライウェル側への気体の流れのモデルも不確かさの要因として考えられる。MAAPでは、原子炉格納容器内の流動は、ノード・ジャンクションモデルを適用しており、ペDESTAL領域からドライウェル領域への流れは、ノードの圧力、ジャンクションの圧力損失により、差圧流や臨界流として扱われる。ジャンクションの圧力損失は、一般的な流動モデルを扱っていることから、不確かさは小さいと考えられる。</p> <p>以上のFCIの不確かさに関する整理結果を表4-1に示す。また、FCIにおける不確かさに関するフローを図4-1に示す。</p>	<p>(3) 原子炉下部キャビティ水とデブリ粒子の伝熱</p> <p>水中にエントレインされたデブリ粒子は、高温かつ崩壊熱による発熱状態にあり、周囲の水が膜沸騰となることから、デブリ粒子自体は蒸気膜に覆われた状態である。</p> <p>MAAPコードでは、水中にエントレインされたデブリ粒子と水との伝熱は蒸気膜に覆われた粒子の熱伝達（膜沸騰熱伝達と輻射熱伝達）に関する相関式で表される。ここで、デブリ粒子から水への伝熱はデブリ粒子の径に依存する。また、原子炉下部キャビティ床に堆積したデブリ粒子は、細粒化されない他の溶融炉心とともに、均質の平板として模擬される。</p> <p>前述のとおり、溶融炉心のエントレインメント量は、Ricou-Spaldingの式により計算され、デブリ粒子の数はデブリ粒子の径により計算されるため、デブリ粒子の径がキーパラメータである。有効性評価の解析では、デブリ粒子の径を、(UO₂及びZrO₂)を用いたFCIの大規模実験に基づき設定していることから妥当であると考えられるが、解析において設定したデブリ粒子の径は、FCIの大規模実験での平均的な値であり、実験ケースによってばらつきが存在している。したがって、この観点で不確かさが存在することから、デブリ粒子の径の感度を確認する。</p> <p>なお、MAAPコードでは、デブリ粒子径はデブリジェットの表面張力に依存するモデルとなっており、デブリジェット径には依存しない。</p> <p>(4) 原子炉格納容器内での水蒸気の流動</p> <p>FCIによる圧力スパイクの評価の観点では、原子炉下部キャビティ区画から他区画への気体の流れのモデルも不確かさの要因として考えられる。MAAPコードでは、原子炉格納容器内の流動はノード・ジャンクションモデルであり、原子炉下部キャビティ区画から他区画への流れは、ノードの圧力、ジャンクションの圧力損失により、差圧流や臨界流として取り扱われる。</p> <p>ジャンクションの圧力損失に関しては、一般的な流動モデルを扱っていることから、不確かさは小さいと判断する。</p>	

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

表 4-1 FCIの不確かさに関する整理結果(1/2)

影響因子	実機での表現象	解析上の取り扱い	感度解析条件
プール水温	ベデスタル注水の水温によりベデスタル領域のプール水温が決まる。	ベデスタル注水の水温は、水源温度の実績値に対して高めの温度を設定している。	解析モデルパラメータではないため、感度解析は行わない。
プール水位	ベデスタル部の注水により水位が上昇するが、水位がベデスタル部からドレイウエル部への開口部に到達すると、プール水はドレイウエル側に流出するため水位はこれ以上上昇しない。	有効性評価では、保守的に高めの水位としてベデスタル部の開口部下端まで水位があるとされている (BWR5 Mark-1 改良型格納容器プラントの例)。	解析モデルパラメータではないため、感度解析は行わない。
溶融炉心落下量	破損口径と同じ径の大きさで炉心デブリが流出し、破損口も侵食すると想定される。	破損口径と同じ径で炉心デブリが流出する。破損口の侵食も考慮される。	原子炉圧力容器底部の口径が大きい貫通部として制御棒ハウジングを想定しているため感度解析は不要。
溶融炉心落下速度	原子炉圧力容器内外圧力差、溶融炉心の水頭、落下距離によって落下速度が決まる。	原子炉圧力容器内外圧力差、溶融炉心の水頭、落下距離によって落下速度が決まる。	エントレインメント係数

【参考のため掲載順を入替え】

表 4-1 FCIの不確かさに関する整理結果

影響因子	実機での表現象	解析上の取り扱い	感度解析条件
原子炉下部キャビティ水温	ブローダウン水、スプレイ水等が原子炉下部キャビティに回り込み、原子炉下部キャビティ水温が決まる。	ノードージャンクシヨシモデルに従い、原子炉下部キャビティに流れ込む水の温度が評価される。	FCIを促進する取扱いのため、感度解析不要
原子炉下部キャビティへの注入量	ブローダウン水、スプレイ水等が原子炉下部キャビティに回り込み、原子炉下部キャビティ水深が決まる。	ノードージャンクシヨシモデルに従い、原子炉下部キャビティに流れ込む水量が評価される。	原子炉下部キャビティ水深 (5. (1) にて感度解析実施)
溶融炉心落下量	破損口径と同等の大きさで溶融炉心が流出すると想定される。	破損口径と同じ径で溶融炉心が流出する。破損口の侵食も考慮される。	破損口径 (5. (2) にて感度解析実施)
溶融炉心落下速度	原子炉容器内外圧力差、自重、破損口径によって落下速度が決まる。	原子炉容器内外圧力差、自重、破損口径によって落下速度が評価される。	エントレインメント係数 (5. (3) にて感度解析実施)
細粒化量	デブリジェット径が大きいため、水中に落下する溶融炉心の内、エントレインメント部分はジェットの表面近傍に限られると想定される。	逆円錐型のデブリジェットに対して、Ricour-Spalding 相関式によって評価される。	エントレインメント係数 (5. (3) にて感度解析実施)
原子炉下部キャビティ水とデブリ粒子の伝熱	デブリ粒子から水へ膜沸騰伝熱及び輻射熱伝達から伝熱量が決まる。	デブリ粒子から水へ膜沸騰伝熱及び輻射熱伝達による熱流束によって評価される。	デブリ粒子の径 (5. (4) にて感度解析実施)
原子炉格納容器内での水蒸気の流動	原子炉下部キャビティで発生した水蒸気が圧力差と流動抵抗によって他区画へ移行すると想定される。	ノードージャンクシヨシモデルに従い、原子炉格納容器内を流れる水蒸気質量流量が評価される。	一般的な流動モデルで取り扱っており、不確かさが小さく、感度解析不要

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶解炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由
表 4-1 FCIの不確かさに関する整理結果(2/2)				
影響因子	実機での実現象	解析上の取り扱い	感度解析条件	
細粒化量	デブリジェット径が大きいため、水中に落下する炉心デブリのうち、エントレインメントされる部分はジェットの表面近傍に限ると想定される。	デブリジェットに対して、Nicol-Spalding式によって評価される。	エントレインメント係数	
プール水とデブリ粒子の伝熱	デブリ粒子から水へ膜沸騰伝熱及び輻射熱伝達から伝熱量が決まる。	デブリ粒子から膜沸騰伝熱及び輻射熱伝達を考慮したモデルによって評価される。	デブリ粒子径	
格納容器内での水蒸気の流動	ペDESTアル領域で発生した水蒸気が圧力差と流動抵抗によりドラウウェル領域へ移行すると想定される。	ノード・ジャンクションモデルに従い、原子炉格納容器内を流れる水蒸気量が評価される。	一般的な流動モデルで取り扱っており、不確かさが小さく、感度解析不要。	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図 4-1 FCI における不確かさに関する流れ図</p>	<p>図 4-1 FCI における不確かさに関する流れ図</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶解炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 4-2 シーケンス間の原子炉下部キャビティ水温の比較（3 ループプラントの例）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由									
<p>5. 感度解析と評価</p> <p>4章において抽出したパラメータに関し、感度解析を実施し、有効性評価に対する影響度合いを確認する。</p> <p>感度解析のベースケースは、BWR 5 Mark-I 改良型格納容器プラントにおける「高圧・低圧注水機能喪失（原子炉圧力容器破損）」である。</p>	<p>5 感度解析と評価</p> <p>4章において抽出したパラメータに関して感度解析によりその影響程度を把握した。</p> <p>感度解析のベースケースは、3ループプラントの「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗+CV スプレイ注入失敗」である。</p> <p>(1) 原子炉下部キャビティ水深 解析条件</p> <p>ベースケースでは、炉心損傷検知後 30 分で代替格納容器スプレイを実施することとしている。感度解析ケースでは、原子炉容器破損時点での原子炉下部キャビティ水深がより深くなる想定として、代替格納容器スプレイ作動のタイミングを変更する。</p> <p>ベースケースでは炉心溶融後 30 分としているが、感度解析ケースでは 10 分早めて炉心溶融後 20 分で代替格納容器スプレイ作動を仮定した感度解析を実施する。</p> <table border="1" data-bbox="1079 692 1946 968"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>代替格納容器スプレイ作動</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>炉心溶融後 30 分</td> <td>運転員等操作余裕時間として設定</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td>炉心溶融後 20 分</td> <td>原子炉下部キャビティへの注入量を増加するため、ベースケースより 10 分早く、代替格納容器スプレイ作動を仮定</td> </tr> </tbody> </table>	項目	代替格納容器スプレイ作動	設定根拠	ベースケース	炉心溶融後 30 分	運転員等操作余裕時間として設定	感度解析ケース	炉心溶融後 20 分	原子炉下部キャビティへの注入量を増加するため、ベースケースより 10 分早く、代替格納容器スプレイ作動を仮定	<p>※PWR ではスプレイ水等の回り込みにより水深が変化するため感度解析を実施</p>
項目	代替格納容器スプレイ作動	設定根拠									
ベースケース	炉心溶融後 30 分	運転員等操作余裕時間として設定									
感度解析ケース	炉心溶融後 20 分	原子炉下部キャビティへの注入量を増加するため、ベースケースより 10 分早く、代替格納容器スプレイ作動を仮定									

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>The diagram illustrates a cross-section of a reactor vessel during a severe accident. At the top, the '原子炉容器' (Reactor vessel) contains a '溶融炉心' (Molten core), represented by a red dotted area. Below the core, '蒸気' (Steam) is shown as blue bubbles rising from a pool of water. The vessel is supported by a 'ベースケース' (Base case) and a '感度解析ケース' (Sensitivity analysis case), which are indicated by vertical arrows on the right side of the diagram.</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由									
	<p>解析結果</p> <p>図5-1-1～5-1-5に、代替格納容器スプレイ作動時刻の感度解析結果を示す。</p> <p>ベースケースと感度解析ケースで、本パラメータの影響は炉心熔融後20分以降に現れる。炉心熔融後20分までの挙動は同等である。代替格納容器スプレイ作動のタイミングがベースケースに比べて10分早くなったことにより、原子炉容器破損時点の原子炉下部キャビティ水位がベースケースに比べて増加している。また、約1.5時間時点で原子炉容器破損が発生し圧力スパイクが起こるが、ベースケースと感度解析ケースで大きな違いはない。これは、PWRでは格納容器体積が大きいことにより、過渡的な圧力上昇が緩和されたことから、感度解析に差が生じなかったと考えられる。</p> <p>評価</p> <p>原子炉下部キャビティ水深の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価の結果に与える影響は小さいと言える。</p> <p>(2) 原子炉容器の破損口径</p> <p>解析条件</p> <p>原子炉容器破損口の大きさには不確かさがあり、破損口の大きさが大きい場合に圧力スパイクが大きくなると考えられる。破損口初期径として、ベースケースでは原子炉容器貫通部1つ分の径である□mを与えているが、感度解析としてその約3倍の□mを設定する。貫通部の径に対して約3倍の初期径を想定したのは、貫通部の口径に対して隣接する計装案内管間の距離は数倍あり、隣接する貫通部が同時に破損すると、その間の領域の原子炉容器本体も同時に熔融破損する可能性も考慮したためである。</p> <table border="1" data-bbox="1066 1070 1944 1193"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>破損口の初期径</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>□m</td> <td>原子炉容器貫通部1つ分の径</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td>□m</td> <td>隣接する貫通部の同時破損を想定</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 5px;">枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p>	項目	破損口の初期径	設定根拠	ベースケース	□m	原子炉容器貫通部1つ分の径	感度解析ケース	□m	隣接する貫通部の同時破損を想定	<p>※BWRは【DCH】で記載</p>
項目	破損口の初期径	設定根拠									
ベースケース	□m	原子炉容器貫通部1つ分の径									
感度解析ケース	□m	隣接する貫通部の同時破損を想定									

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>ベースケース</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>感度解析ケース</p> </div> </div> <p>解析結果</p> <p>図5-2-1～5-2-5に、原子炉容器の破損口径の感度解析結果を示す。</p> <p>ベースケースと感度解析ケースで、本パラメータの影響は原子炉容器破損以降に現れる。約1.5時間の時点で原子炉容器の破損が発生しており、感度解析ケースでは破損口径が大きくなることでデブリジェット質量流量が増加し、原子炉下部キャビティの水位の低下がやや大きくなるが、ベースケースとの差はわずかである。これは、溶融炉心が破損口を通過する際に、溶融炉心からの対流熱伝達により破損口が溶融拡大され、結果的に破損口の初期径の差の影響が現れなかったこと、PWRでは原子炉格納容器体積が大きいことにより、過渡的な圧力上昇が緩和されたことから、感度解析に差が生じなかったと考えられる。</p> <p>評価</p> <p>原子炉容器破損口径の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価の結果に与える影響は小さいと言える。</p>	

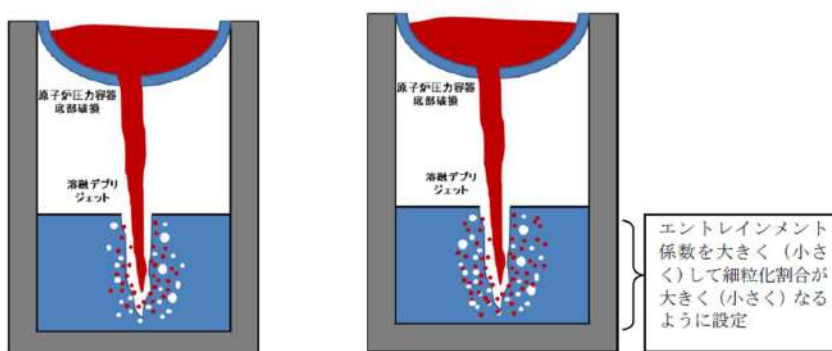
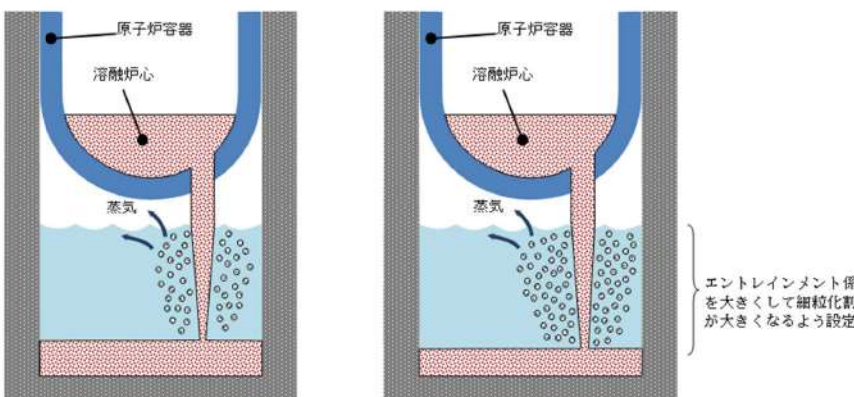
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉			泊発電所3号炉			相違理由																			
(1) Ricou-Spalding のエントレインメント係数 a. 解析条件 Ricou-Spalding のエントレインメント係数は、ベースケースではMAAP推奨範囲 [] ~ [] のうちおよそ中間となる [] を設定しているが、感度解析ケースでは、MAAPの当該変数の推奨範囲のうち最大値と最小値 []、[] を設定する。			(3) Ricou-Spalding のエントレインメント係数 解析条件 細粒化割合には不確かさがあり、細粒化割合が大きい場合に圧力スパイクが大きくなると考えられる。エントレインメント係数はベースケースでは [] を設定しているが、感度解析ケースでは、MAAPコードの当該変数の推奨範囲 [] のうち最も大きい値、即ち、細粒化割合が大きく評価される値である [] を設定する。なお、推奨範囲とは、FCIの大規模実験に対するベンチマーク解析において検討された範囲のことである。FCIの大規模実験の条件として、水プールの水深は0.87~2.05m、水プールのサブクール度は飽和~124K、雰囲気圧力条件は2~5.8MPa（高圧条件）、0.2~0.5MPa（低圧条件）を考慮している。一方、熔融炉心が原子炉下部キャビティへ落下する時点の特徴的な条件では、原子炉下部キャビティの水位は1~2m、原子炉下部キャビティ内の冷却水のサブクール度は数十℃、雰囲気圧力は0.2~0.3MPa（abs）であり、実験条件は有効性解析の特徴的な条件を包絡する。したがって、実験で検討された範囲に対して感度を確認すれば十分といえる。なお、デブリジェット径については、実験条件と実機条件に差があり、実機条件の方が、径が大きい。このため、実機条件では細粒化される熔融炉心は一部であり、残りの大部分は連続層のまま原子炉下部キャビティ床に堆積すると考えられる。実験ではジェット径に対して水深が深いため、ジェットの先端が床に到達せず、ほとんどすべての熔融炉心が細粒化されており、この条件に対してエントレインメント係数の幅が評価されている。したがって、実機条件のように、ジェット径に対する水深が浅い場合には、エントレインメント係数はより小さく評価されると考えられる。実機条件に対して当該変数推奨値の最大値を与えて感度解析を実施することは、実現象よりもFCIの影響を過大に評価することになる。																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>エントレインメント係数</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>[]</td> <td>MAAP推奨範囲のノミナル値</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">感度解析ケース</td> <td>[]</td> <td>MAAP推奨範囲の最小値</td> </tr> <tr> <td>[]</td> <td>MAAP推奨範囲の最大値</td> </tr> </tbody> </table>			項目	エントレインメント係数	設定根拠	ベースケース		[]	MAAP推奨範囲のノミナル値	感度解析ケース	[]	MAAP推奨範囲の最小値	[]	MAAP推奨範囲の最大値	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>エントレインメント係数</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>[]</td> <td>当該変数推奨範囲の最確値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td>[]</td> <td>当該変数推奨範囲の最大値</td> </tr> </tbody> </table>			項目	エントレインメント係数	設定根拠	ベースケース	[]	当該変数推奨範囲の最確値	感度解析ケース	[]
項目	エントレインメント係数	設定根拠																							
ベースケース	[]	MAAP推奨範囲のノミナル値																							
感度解析ケース	[]	MAAP推奨範囲の最小値																							
	[]	MAAP推奨範囲の最大値																							
項目	エントレインメント係数	設定根拠																							
ベースケース	[]	当該変数推奨範囲の最確値																							
感度解析ケース	[]	当該変数推奨範囲の最大値																							
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>																						

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>ベースケース</p> <p>感度解析ケース</p> <p>エントレインメント係数を大きく（小さく）して細粒化割合が大きく（小さく）なるように設定</p>	 <p>ベースケース</p> <p>感度解析ケース</p> <p>エントレインメント係数を大きくして細粒化割合が大きくなるよう設定</p>	
<p>b. 解析結果</p> <p>図 5-1-1 及び図 5-1-2 にエントレインメント係数の感度解析結果を示す。</p> <p>ベースケースと感度解析ケースで、本パラメータの影響は原子炉压力容器破損以降に現れる。約 4.3 時間の時点で原子炉压力容器の破損が発生しており、その時の格納容器圧力の上昇は、感度解析ケース（最大値）の方が僅かに大きい結果となっている。また、格納容器下部水温については、原子炉压力容器の破損に伴う溶融炉心の落下時点での温度上昇は感度解析ケース（最大値）の方が僅かに高い結果となっている。これは、エントレインメント係数を大きくすることで細粒化が進み、水との接触面積が大きくなり、水蒸気を短期間に発生させる効果があるためである。</p>	<p>解析結果</p> <p>図 5-3-1～5-3-5 に、エントレインメント係数の感度解析結果を示す。</p> <p>ベースケースと感度解析ケースで、本パラメータの影響は原子炉压力容器破損以降に現れる。約 1.5 時間の時点で原子炉容器の破損が発生しており、そのときの原子炉格納容器圧力の上昇は、感度解析ケースの方がわずかに大きい結果となっている。また、原子炉下部キャビティの水温については、原子炉容器の破損に伴う溶融炉心の落下時点での温度上昇は感度解析ケースの方がわずかに大きい結果となっている。これは、エントレインメント係数を大きくすることで細粒化が進み、水との接触面積が大きくなり、水蒸気を短期間に発生させる効果があるためである。</p> <p>ベースケース、感度解析ともに、発生水蒸気は水面に到達する間に周囲の水と熱交換し、水蒸気のエネルギーは水温上昇に費やされるため、一部が凝縮し、圧力スパイクには寄与しなくなる。また、発生した水蒸気による原子炉格納容器の圧力上昇は、PWR では原子炉格納容器体積が大きいことにより緩和されたため、ベースケースとの圧力の差は小さくなり、エントレインメントに伴う圧力スパイクに対する感度は小さくなる。溶融炉心全体の熱量は、ベースケースと感度解析ケースで等価であるため、溶融炉心落下後の原子炉格納容器内温度、圧力、原子炉下部キャビティ水位等は一致した結果になり、エントレインメント係数を変更させたことの影響は過渡的なものとして現れる。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

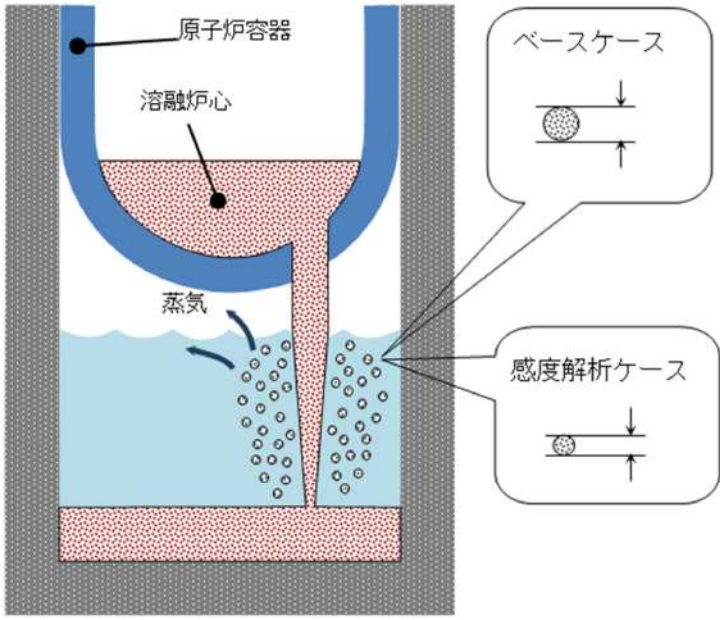
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																					
<p>c. 評価</p> <p>エントレインメント係数の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価の結果に与える影響は小さい。</p> <p>(2) デブリ粒子径</p> <p>a. 解析条件</p> <p>デブリ粒子径には不確かさがあり、粒子径が小さい場合に圧力スパイクが大きくなると考えられる。原子炉圧力容器下部プレナム部の粒子径ファクタは、ベースケースではMAAP推奨範囲（<input type="text"/>～<input type="text"/>）のうちおよそ中間となる<input type="text"/>を設定しているが、感度解析ケースでは、MAAPの当該変数の推奨範囲のうち最小値と最大値<input type="text"/>、<input type="text"/>を設定する。なお、格納容器下部の粒子径ファクタは、固定値<input type="text"/>を設定している。</p> <table border="1" data-bbox="152 1165 1037 1311"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>粒子径ファクタ</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td><input type="text"/></td> <td>MAAP推奨範囲のノミナル値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td><input type="text"/></td> <td>MAAP推奨範囲の最小値</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="text"/></td> <td>MAAP推奨範囲の最大値</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="638 1342 1037 1422" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	項目	粒子径ファクタ	設定根拠	ベースケース	<input type="text"/>	MAAP推奨範囲のノミナル値	感度解析ケース	<input type="text"/>	MAAP推奨範囲の最小値		<input type="text"/>	MAAP推奨範囲の最大値	<p>評価</p> <p>エントレインメント割合の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価の結果に与える影響は小さいと言える。</p> <p>(4) デブリ粒子の径</p> <p>解析条件</p> <p>粒子の径には不確かさがあり、粒子の径が小さい場合に圧力スパイクが大きくなると考えられる。粒子の径に係る係数は、ベースケースではFCIの大規模実験に基づく<input type="text"/>を設定しているが、感度解析ケースでは、MAAPコードの当該変数の推奨範囲<input type="text"/>～<input type="text"/>のうち最も小さい値、即ち、デブリ粒子の径が小さく評価される値である<input type="text"/>を設定する。なお、推奨範囲とは、FCIの大規模実験に対するベンチマーク解析において検討された範囲のことであり、FCIの大規模実験の条件として、水プールの水深は0.87～2.05m、水プールのサブクール度は飽和～124K、雰囲気圧力条件は2～5.8MPa（高圧条件）、0.2～0.5MPa（低圧条件）を考慮している。一方、溶融炉心が原子炉下部キャビティへ落下する時点の特徴的な条件では、原子炉下部キャビティの水位は1～2m、原子炉下部キャビティ内の冷却水のサブクール度は数十℃、雰囲気圧力は0.2～0.3MPa（abs）であり、実験条件は有効性解析の特徴的な条件を包絡する。したがって、実験で検討された範囲に対して感度を確認すれば十分といえる。なお、デブリジェット径については、実験条件と実機条件に差があり、実機条件の方が、径が大きい。しかし、細粒化したデブリ粒子の径については、溶融炉心の表面張力とジェット速度によって決まるものであり、ジェット径には依存しない。</p> <p>また、デブリ粒子の径に関する入力値は、原子炉下部キャビティだけでなく、原子炉容器内での溶融炉心の細粒化に対しても適用されている（前述のエントレインメント係数については、原子炉下部キャビティと原子炉容器内で、個別に設定可能である）。</p> <table border="1" data-bbox="1068 1174 1944 1299"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>粒子径ファクタ</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td><input type="text"/></td> <td>当該変数推奨範囲の最確値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td><input type="text"/></td> <td>当該変数推奨範囲の最小値</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="1646 1377 1944 1433" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	項目	粒子径ファクタ	設定根拠	ベースケース	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最確値	感度解析ケース	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最小値	
項目	粒子径ファクタ	設定根拠																					
ベースケース	<input type="text"/>	MAAP推奨範囲のノミナル値																					
感度解析ケース	<input type="text"/>	MAAP推奨範囲の最小値																					
	<input type="text"/>	MAAP推奨範囲の最大値																					
項目	粒子径ファクタ	設定根拠																					
ベースケース	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最確値																					
感度解析ケース	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最小値																					

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>b. 解析結果</p> <p>図5-2-1及び図5-2-2に、デブリ粒子径の感度解析結果を示す。</p> <p>粒子径ファクタは、原子炉压力容器下部プレナム部の細粒化に適用されていることから、本解析には、原子炉压力容器下部プレナム部の細粒化効果が含まれる。原子炉压力容器下部プレナム部に関する考察は添付1にて行っており、原子炉圧力への影響は僅かであることが確認されている。原子炉压力容器の破損時刻は、感度解析ケース（最小値）の方が僅かに早い結果となっている。これは、デブリ粒子の径が小さくなることで下部プレナムに残留している冷却材の蒸発が早くなり、結果として原子炉压力容器の破損が早まっている。約4.3時間で原子炉压力容器の破損に至り、溶融炉心が格納容器下部に落下し、水蒸気発生に伴う圧力上昇となり、感度解析ケース（最小値）の方が早く上昇する結果となっている。これは、前述のとおり、感度解析ケース（最小値）の方が原子炉压力容器の破損が早くなるためであり、この時の圧力上昇幅を比較すると、ベースケースと感度解析ケースとで大きな差はない。また、格納容器下部水温についても、原子炉压力容器の破損後の温度上昇幅はベースケースと感度解析ケースとで大きな差はない。</p>	 <p>解析結果</p> <p>図5-4-1～5-4-5に、デブリ粒子の径の感度解析結果を示す。デブリ粒子の径に関する入力値が原子炉压力容器下部プレナム部の細粒化にも適用されていることから、本解析では、原子炉压力容器下部プレナム部の応答も含めて考察する。</p> <p>ベースケースと感度解析ケースで、本パラメータの影響は溶融炉心の下部プレナムへの落下以降に現れる。溶融炉心が、原子炉压力容器下部プレナムに落下する時点（約1時間）での原子炉格納容器圧力の上昇は、ベースケースと感度解析ケースとで、差はわずかである。その後、原子炉压力容器の破損時刻は、感度解析ケースの方が、早い結果となっている。これは、デブリ粒子の径が小さくなることで下部プレナムに残留している冷却水の蒸発が早くなることと、径が小さいデブリ粒子が下部プレナム底に成層化することによるものである。そのため、下部プレナムに堆積した塊状の溶融炉心が冷却されにくくなり、結果として原子炉压力容器の破損が早まっている。</p> <p>その後、約1.5時間で原子炉压力容器の破損に至り、溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下し、水蒸気発生に伴う圧力上昇となり、感度解析ケースの方が早く上昇する結果となっている。これは、前述のとおり、感度解析ケースの方が原子炉压力容器の破損が早くなるためであり、この時の圧</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>c. 評価</p> <p>デブリ粒子径の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価の結果に与える影響は小さい。</p>	<p>力上昇幅を比較すると、ベースケースと感度解析ケースとで大きな差はない。また、原子炉下部キャビティ水温について、原子炉容器の破損後の温度上昇幅は、感度解析ケースの方がわずかに大きい。過渡的な変化であり、熔融炉心全体の熱量がベースケースと感度解析ケースとで等価であるため、最終的にはベースケースと一致した温度となっている。</p> <p>以上、デブリ粒子の径に関しては、約3割小さくした場合でも、原子炉格納容器圧力の上昇にはほとんど影響しない結果となった。これは、原子炉下部キャビティが水張りされていることで、デブリ粒子の冷却自体が促進されており、相対的に粒子径の差が、大きな影響を与えていないこと、及びPWRでは原子炉格納容器体積が大きいことにより過渡的な圧力上昇が緩和された結果、感度解析に差が生じなかったと考えられる。</p> <p>評価</p> <p>デブリ粒子径の圧力スパイクに対する感度は小さく、その不確かさが有効性評価へ与える影響は小さいと言える。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

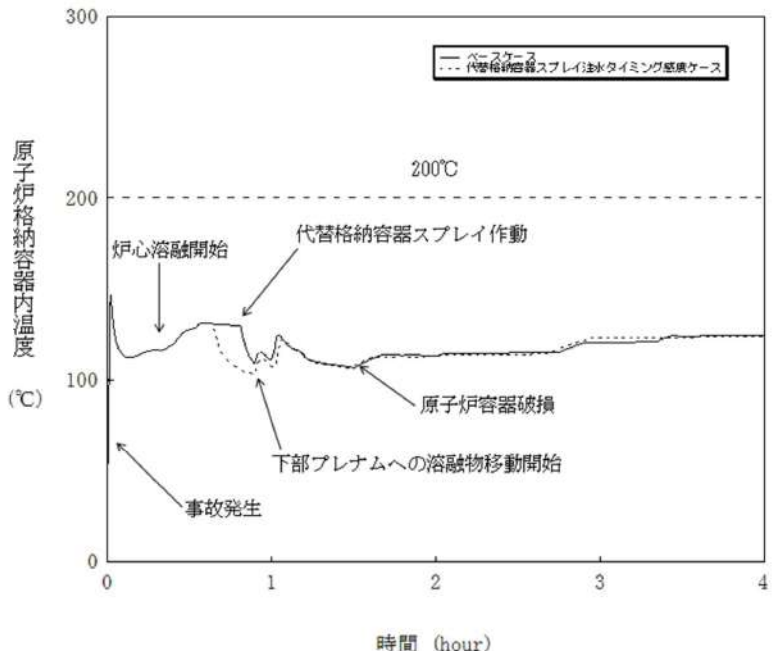
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) 感度解析パラメータの組み合わせ</p> <p>(2) で示したようにデブリ粒子径の圧カスパイクへの感度はほとんどない。このため、エントレインメント係数とデブリ粒子径の感度解析パラメータを組み合わせた解析は、エントレインメント係数の保守側のパラメータの感度解析とほぼ同じとなる。</p>	<p>(5) 感度解析パラメータの組合せ</p> <p>原子炉下部キャビティ水深、破損口径、エントレインメント係数、デブリ粒子の径のそれぞれに対して、圧カスパイクに対する感度を確認した。いずれの場合においても、PWRでは原子炉格納容器体積が大きいことにより圧力上昇が緩和されたため、感度解析に大きな差は生じなかった。これらの不確かさ要因を組み合わせた場合、定性的には圧カスパイクに対する感度は、単独の不確かさを考慮した場合よりも大きくなると考えられるが、PWRの原子炉格納容器体積は十分大きいため、不確かさを組み合わせた場合でも圧力上昇は緩和され、その不確かさが有効性評価へ与える影響は小さいと言える。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p data-bbox="1153 199 1877 279">「本製品（又はサービス）には、米国電力研究所（the Electric Power Research Institute）の出資により電力産業用に開発された技術が取り入れられています。」</p>  <p data-bbox="1254 981 1758 1013">図 5-1-1 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（1）</p>	<p data-bbox="1971 303 2116 335">※PWR固有の解析</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-1-2 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（2）</p>	<p>※PWR固有の解析</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-1-3 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（3）</p>	<p>※PWR固有の解析</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-1-4 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（4）</p>	<p>※PWR 固有の解析</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
		<p>※PWR固有の解析</p>

図 5-1-5 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（5）

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-2-1 原子炉容器の破損口径感度解析（1）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-2-2 原子炉容器の破損口径感度解析（2）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

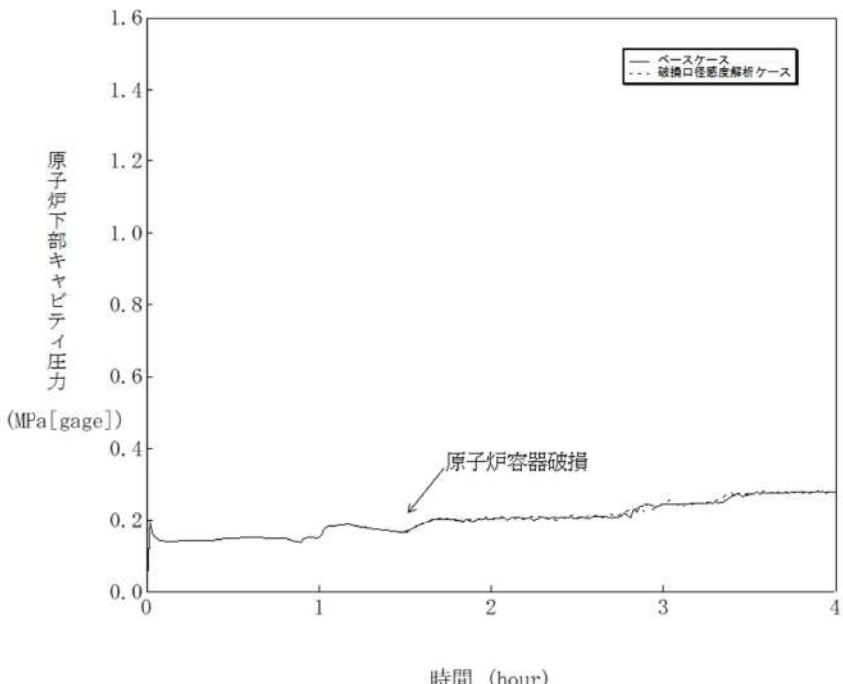
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-2-3 原子炉容器の破損口径感度解析（3）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

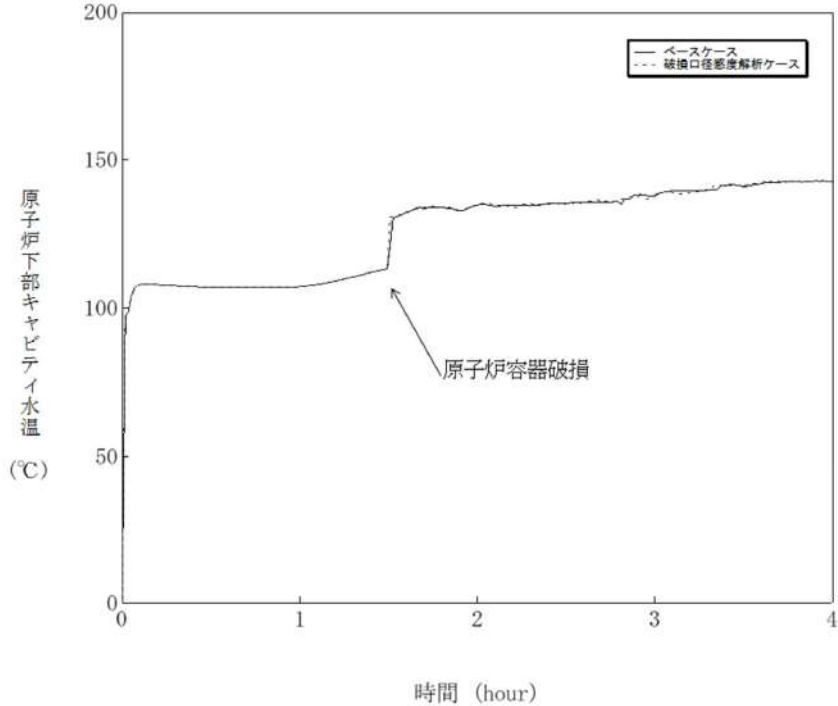
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p data-bbox="1294 986 1713 1013">図 5-2-4 原子炉容器の破損口径感度解析（4）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p style="text-align: center;">図 5-2-5 原子炉容器の破損口径感度解析（5）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-3-1 エントレインメント係数感度解析（1）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図 5-1-1 エントレインメント係数の感度解析 (ドライウェル圧力)</p>	<p>図 5-3-2 エントレインメント係数感度解析 (2)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図 5-1-2 エントレインメント係数の感度解析 (格納容器下部水温)</p>	<p>図 5-3-3 エントレインメント係数感度解析 (3)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶解炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-3-4 エントレインメント係数感度解析（4）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 5-3-5 エントレインメント係数感度解析 (5)

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

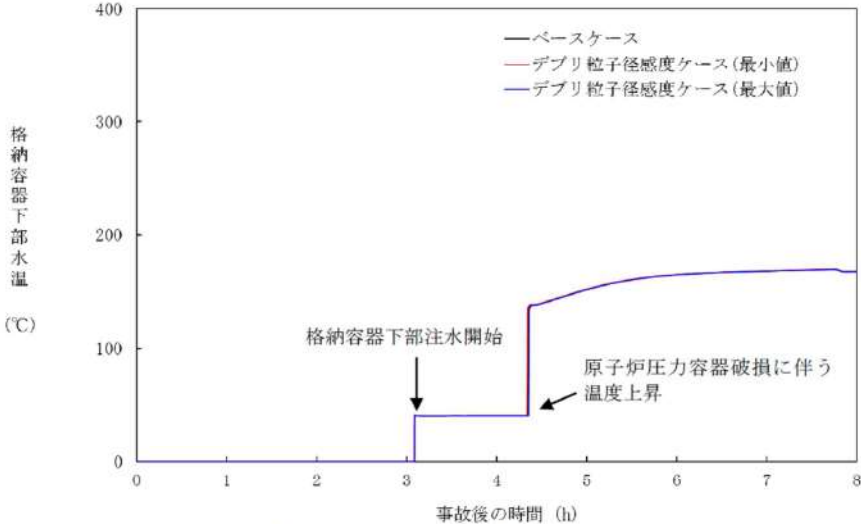
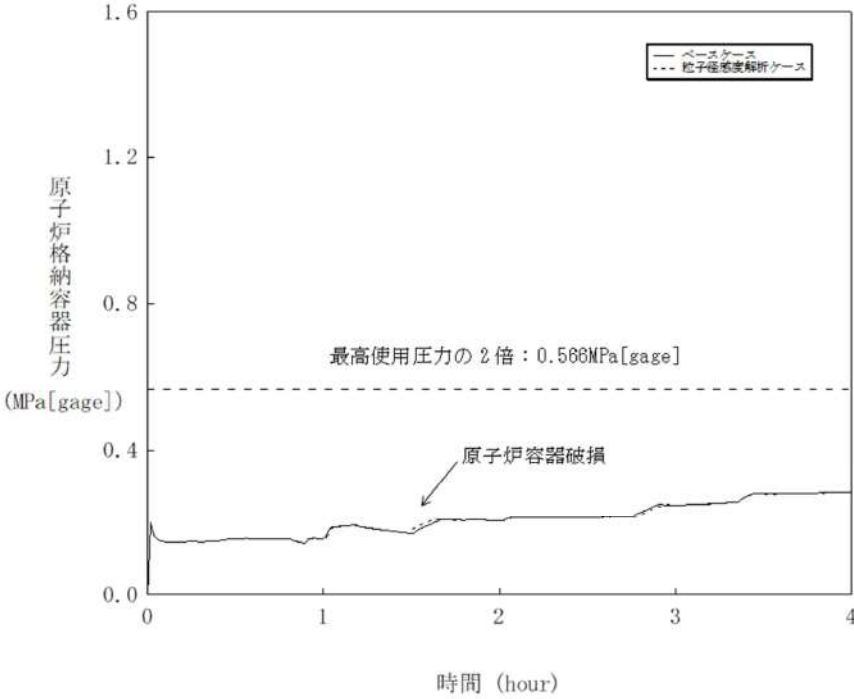
赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図 5-2-1 デブリ粒子径の感度解析 (ドライウェル圧力)</p>	<p>図 5-4-1 デブリ粒子の径感度解析 (1)</p>	

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図 5-2-2 デブリ粒子径の感度解析 (格納容器下部水温)</p>	 <p>図 5-4-2 デブリ粒子の径感度解析 (2)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-4-3 デブリ粒子の径感度解析（3）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-4-4 デブリ粒子の径感度解析（4）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 5-4-5 デブリ粒子の径感度解析 (5)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>6. まとめ</p> <p>原子炉圧力容器外におけるFCIについては、これまでに実ウランを用いて種々の実験が行われているが、外部からの強制的なトリガーを与えない場合には水蒸気爆発は発生しないという結果が得られている。外部トリガーを与えた場合でも水蒸気爆発に至らなかったケースが複数確認されており、また、水蒸気爆発が発生した場合においても機械的エネルギーへの変換効率は小さく、大規模な水蒸気爆発には至っていない。したがって、実機において大規模な水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さいと考えられる。</p> <p>原子炉圧力容器外FCIのうち、圧カスパイクへの影響因子について、実現象と解析モデルにおける取り扱いに着目し、以下に挙げるものを抽出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器下部（ベDESTAL）領域のプール水の状態（サブクール度、水位） ・ 溶融炉心の落下量及び粒子化（破損口径、落下速度、粒子化割合） ・ プール水とデブリ粒子との伝熱（デブリ粒子径） ・ 原子炉格納容器内での水蒸気の流動 <p>これらの項目について、不確かさの幅を考慮した感度解析を実施し、圧カスパイクに対する影響を評価した結果、いずれの項目においても圧カスパイクに対する感度は小さく、重大事故等対策の有効性評価に影響を与えないことを確認した。</p>	<p>6 まとめ</p> <p>原子炉容器内 FCI から水蒸気爆発に至り原子炉格納容器が破損する事象については、これまでの専門家による検討結果では、発生する可能性は非常に低く、問題は解決済みと結論付けられている。また、原子炉容器内 FCI から圧カスパイクに至る事象については、1次冷却材圧力を上昇させることはあるが、原子炉格納容器への直接的な脅威にはならない。</p> <p>原子炉容器外 FCI についても、実験より、デブリ粒子を覆う蒸気膜は安定性があり、外部トリガリングなどの外的な要因がなければ、蒸気膜の崩壊は起こりにくいと言え、実機においては、原子炉下部キャビティ水は準静的であることから、外部トリガリングとなり得る要素は考えにくい。大規模な水蒸気爆発に至る可能性は極めて低いと考えられる。</p> <p>原子炉容器外 FCI のうち、圧カスパイクの不確かさの要因について、実現象と解析モデルの差に着目し、以下のとおり抽出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉下部キャビティ水深 ・ 破損口径 ・ Ricou-Spalding のエントレインメント係数 ・ デブリ粒子の径 <p>これらの項目について感度解析を行い、圧カスパイクへの感度を確認した結果、PWRでは原子炉格納容器体積が大きいことにより、過渡的な圧力上昇が緩和されたことから、いずれについても圧カスパイクに対する感度は小さく、重大事故対策の有効性評価の結果に影響は与えない。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 熔融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">付録1 FARO 実験によるMAAPの圧力スパイクモデル妥当性確認</p> <p>1. FARO 実験の概要</p> <p>FCIの代表的実験であるFARO 実験は、$UO_2/ZrO_2/Zr$ 熔融混合物を噴出させ、装置下部の冷却材との相互作用を検証する実験である。実験装置、実験条件及び実験結果の概要は3.1章（3）FARO 実験に記載している。</p> <p>2. MAAPコードによるFARO 実験の検証解析</p> <p>MAAPコードでは、熔融炉心と冷却材の相互作用を計算し、圧力スパイクを取り扱うモデルに関するパラメータのうち、三つのモデルパラメータがFARO 実験のベンチマーク解析によって妥当性を評価されている。熔融炉心のエントレインメント係数、及び粒子径ファクタである。</p> <p>エントレインメント係数は、ジェット速度と密度比から熔融炉心のエントレインメント量を計算する際の係数であり、細粒化モデル(Ricou-Spalding モデル)に使用される。エントレインメント量はプール水への伝熱量に寄与する。また、エントレインメント速度 (m/s) を求める下式からは、プール底部におけるジェット直径、ジェットの粒子化割合が求められる。</p> $m_{ent} = E_o \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} \right)^{1/2} u_d$ <p>E_o：エントレインメント係数 u_d：ジェット速度 [m/s] ρ_d：ジェット密度 [kg/m³] ρ_w：水密度 [kg/m³]</p>	<p style="text-align: center;">添付2-1 FARO 実験におけるMAAPの圧力スパイクモデルの妥当性確認</p> <p>(1)FARO 実験の概要</p> <p>FARO 実験装置は、150kg 程度のウラン酸化物及びジルコニウム酸化物からなる熔融物を水中に落下させる装置であり、そのときのFCI挙動を観察するものである。</p> <p>(2)MAAPコードによるFARO 実験解析</p> <p>FARO 実験解析を実施する際、MAAPコードにおいてFCIに影響する3つのモデルパラメータを感度係数として選定し、その感度解析結果とFARO 実験結果を比較することによって、圧力スパイクモデルの妥当性を確認する。</p> <p>感度係数として選定したモデルパラメータは以下のとおりである。モデルパラメータの最小値、推奨値、最大値も併せて示している。</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 50px; margin: 10px 0;"></div> <p>MAAPコードによる実験解析を実施するにあたって、いくつかの簡略化を行っている。具体的な仮定を以下に記す。</p>	<p>※付録2-1は従来のPWRの公開文献から追加</p>
<p>粒子径ファクタは、ジェット表面からエントレインメントを受けた粒子の直径を計算する際の係数である。計算された粒子径は、粒子の沈降速度やデブリ温度の計算に用いられる。</p> <p>圧力スパイクモデルのベンチマーク解析における仮定を以下に示す。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> 本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> 枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="145 193 1043 847" style="border: 2px solid black; height: 410px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="145 885 1043 949">上記の仮定によって、解析結果と実験結果の比較には制限があるが、ピーク圧力の上昇（すなわち、圧力スパイク挙動）と圧力の上昇速度については、比較が可能である。</p> <p data-bbox="145 989 1043 1149">付図1、付図2、付図3、付図4、付図5、付図6、付図7、付図8、付図9、付図10、付図11及び付図12にL-06、L-08、L-14、L-11の実験の圧力及びデブリ粒子径及び堆積デブリ質量の実験結果と、MAAP解析結果の比較図を示す。MAAP解析結果は、三つのパラメータに対して、最適値、最大値、最小値の組み合わせを用いて評価されている。また、付表1にL-06、L-08、L-14、L-11の実験の過熱度を示す。</p> <div data-bbox="607 1334 1019 1409" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> 本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	<div data-bbox="1077 193 1962 847" style="border: 2px solid black; height: 410px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1064 885 1962 949">上記の仮定があるため解析結果と実験結果の比較には制限があるものの、ピーク圧力の上昇と圧力の上昇速度については比較可能である。</p> <p data-bbox="1064 989 1962 1085">以下では、実験L-06、L-08、L-11、L-14と解析の比較について、圧力（付図1-1～付図1-4）、堆積デブリ質量（付図1-5～付図1-8）、及びデブリ粒子径（付図1-9～付図1-12）を示す。いずれの実験の圧力挙動もMAAPコードによる解析結果とよく一致した。</p> <div data-bbox="1592 1361 1899 1426" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> 枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由										
<p style="text-align: center;">付表1 FARO 実験における過熱度^[2-4]</p> <table border="1" data-bbox="217 250 972 341"> <thead> <tr> <th>実験ケース</th> <th>L-06</th> <th>L-08</th> <th>L-14</th> <th>L-11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>過熱度[K]</td> <td>63</td> <td>163</td> <td>263</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p>いずれの実験の圧力挙動も、MAAP解析結果では再現をみた。</p> <p>また、デブリ粒子径及び堆積デブリ質量についても、実験結果のデータは、エントレインメント係数及び粒子径ファクタを変化させた場合のMAAP解析結果の範囲内によく再現されている。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> 本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。 </div>	実験ケース	L-06	L-08	L-14	L-11	過熱度[K]	63	163	263	100		
実験ケース	L-06	L-08	L-14	L-11								
過熱度[K]	63	163	263	100								

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="208 196 987 847" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="338 882 853 911" data-label="Caption"> <p>付図1 L-06 実験結果/解析結果比較（圧カスパイク）^[23]</p> </div> <div data-bbox="607 1329 1016 1402" data-label="Text"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1066 229 1946 847" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1279 882 1727 946" data-label="Caption"> <p>付図1-1 L-06 実験結果と解析結果の比較（圧力） 出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> </div> <div data-bbox="1621 1361 1928 1425" data-label="Text"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="203 196 990 847" style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="338 850 851 877">付図2 L-08 実験結果/解析結果比較（圧力スパイク）^[23]</p> <div data-bbox="607 1299 1016 1374" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1064 229 1960 813" style="border: 2px solid black; height: 360px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1279 850 1724 877">付図1-2 L-08 実験結果と解析結果の比較（圧力）</p> <p data-bbox="1346 885 1673 911">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1621 1305 1928 1374" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1059 229 1955 847" style="border: 2px solid black; height: 387px; width: 399px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1285 884 1720 911" style="text-align: center;">付図 1-3 L-11 実験結果と解析結果の比較（圧力）</p> <p data-bbox="1352 919 1671 946" style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1608 1337 1910 1406" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属します ますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="206 197 992 847" style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="344 884 853 911">付図3 L-14 実験結果/解析結果比較（圧カスパイク）^[23]</p> <div data-bbox="580 1326 992 1398" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1061 264 1957 847" style="border: 2px solid black; height: 360px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1285 884 1727 911">付図1-4 L-14 実験結果と解析結果の比較（圧力）</p> <p data-bbox="1352 922 1675 949">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1637 1339 1942 1410" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="203 197 990 847" style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="344 884 853 911">付図4 L-11 実験結果/解析結果比較（圧カスパイク）^[23]</p> <div data-bbox="577 1297 987 1374" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1064 231 1960 845" style="border: 2px solid black; height: 385px; width: 395px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1234 885 1771 911" style="text-align: center;">付図1-5 L-06 実験結果と解析結果の比較（堆積デブリ質量）</p> <p data-bbox="1350 920 1671 946" style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1585 1321 1892 1391" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 20px auto;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1059 264 1957 847" style="border: 2px solid black; height: 365px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1234 884 1771 911">付図1-6 L-08 実験結果と解析結果の比較（堆積デブリ質量）</p> <p data-bbox="1352 920 1671 948">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1615 1289 1917 1358" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1059 229 1955 847" style="border: 2px solid black; height: 387px; width: 399px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1234 852 1771 879" style="text-align: center;">付図1-7 L-11 実験結果と解析結果の比較（堆積デブリ質量）</p> <p data-bbox="1352 885 1671 911" style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1637 1337 1942 1402" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 20px auto; width: fit-content;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1064 263 1960 845" style="border: 2px solid black; height: 365px; width: 395px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1234 852 1771 879" style="text-align: center;">付図1-8 L-14 実験結果と解析結果の比較（堆積デブリ質量）</p> <p data-bbox="1350 885 1671 911" style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1624 1332 1928 1401" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="181 196 1003 834" style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="342 850 851 877">付図5 L-06 実験結果/解析結果比較（デブリ粒子径）^[23]</p> <div data-bbox="593 1332 1003 1409" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1059 228 1955 845" style="border: 2px solid black; height: 387px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1245 850 1762 877">付図1-9 L-06 実験結果と解析結果の比較（デブリ粒子径）</p> <p data-bbox="1350 885 1671 912">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1615 1358 1921 1425" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="181 199 1012 869" style="border: 2px solid black; height: 420px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="344 884 853 911">付図6 L-08 実験結果/解析結果比較（デブリ粒子径）^[23]</p> <div data-bbox="602 1337 1012 1410" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1061 300 1957 880" style="border: 2px solid black; height: 364px; width: 100%;"></div> <p data-bbox="1240 884 1771 911">付図1-10 L-08 実験結果と解析結果の比較（デブリ粒子径）</p> <p data-bbox="1352 919 1675 946">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1615 1326 1921 1393" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div data-bbox="1061 229 1960 847" style="border: 2px solid black; height: 387px; width: 399px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1240 852 1767 879" style="text-align: center;">付図 1-11 L-11 実験結果と解析結果の比較（デブリ粒子径）</p> <p data-bbox="1352 887 1671 914" style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <div data-bbox="1608 1358 1912 1426" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="206 199 987 863" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="336 880 853 911" data-label="Caption"> <p>付図7 L-14 実験結果/解析結果比較（デブリ粒子径）^[23]</p> </div> <div data-bbox="607 1334 1016 1406" data-label="Text"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1061 263 1957 847" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1232 849 1771 879" data-label="Caption"> <p>付図1-12 L-14 実験結果と解析結果の比較（デブリ粒子径）</p> </div> <div data-bbox="1339 884 1675 912" data-label="Text"> <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> </div> <div data-bbox="1599 1334 1910 1401" data-label="Text"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="208 196 983 844" style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p data-bbox="342 850 851 877">付図8 L-11 実験結果/解析結果比較（デブリ粒子径）^[23]</p> <div data-bbox="607 1305 1016 1380" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="197 201 999 879" style="border: 2px solid black; height: 425px; width: 358px; margin: 10px auto;"></div> <p data-bbox="331 884 860 911">付図9 L-06 実験結果/解析結果比較（堆積デブリ質量）^[23]</p> <div data-bbox="607 1295 1016 1370" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 20px auto; width: fit-content;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="192 196 999 847" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="320 849 866 879" data-label="Caption"> <p>付図10 L-08 実験結果/解析結果比較（堆積デブリ質量）^[23]</p> </div> <div data-bbox="607 1299 1016 1374" data-label="Text"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="217 193 976 842" style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <div data-bbox="322 847 869 879" style="text-align: center;"> <p>付図 11 L-14 実験結果/解析結果比較（堆積デブリ質量）^[23]</p> </div> <div data-bbox="607 1326 1016 1398" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="215 196 976 847" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="322 849 866 879" data-label="Caption"> <p>付図 12 L-11 実験結果/解析結果比較（堆積デブリ質量）^[23]</p> </div> <div data-bbox="607 1334 1016 1409" data-label="Text"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. 結論</p> <p>MAAPコードでは、FCIに関わる圧力スパイク挙動はデブリジェットモデルで制御されており、その妥当性確認はFARO実験結果とのベンチマーク解析によって行われている。FARO実験結果の示す圧力スパイク挙動のピーク圧力、圧力上昇及びデブリ粒子径について、MAAPコードはよく再現されており、その妥当性が確認されている。</p>	<p>(3)まとめ</p> <p>MAAPコードでは、FCIに関わる圧力スパイク挙動はデブリジェットモデルで制御されており、その妥当性確認はFARO実験とのベンチマーク解析によって行われている。FARO実験結果の示す圧力スパイク挙動のピーク圧力、圧力上昇及びデブリ粒子径について、MAAPコードはよく再現されており、その妥当性が確認されている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>参考文献</p> <p>[1] U.S.NRC, Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400, NUREG-75/014, Oct. 1975.</p> <p>[2] N. Yamano, Y. Maruyama, T. Kudo, A. Hidaka, J. Sugimoto, Phenomenological studies on melt-coolant interactions in the ALPHA program, Nucl. Eng. Des. 155 369-389, 1995.</p> <p>[3] I. Huhtiniemi, D. Magallon, H. Hohmann, Results of recent KROTOS FCI tests: aluminum versus corium melts, Nucl. Eng. Des. 189 379-389, 1999.</p> <p>[4] D. Magallon, Characteristics of corium debris bed generated in large-scale fuel-coolant interaction experiments, Nucl. Eng. Des. 236 1998-2009, 2006.</p> <p>[5] H. S. Park, R. Chapman, M. L. Corradini, Vapor Explosions in a One-Dimensional Large-Scale Geometry With Simulant Melts, NUREG/CR-6623, 1999.</p> <p>[6] D. Magallon, et al, Lessons learnt from FARO/TERMOS corium melt quenching experiments, Nucl. Eng. Des. 189 223-238, 1999.</p> <p>[7] M. Kato, H. Nagasaka, COTELS Fuel Coolant Interaction Tests under Experimental Vessel Conditions, JAERI-Conf 2000-015, 2000.</p> <p>[8] V. Tyrpekl, Material effect in the fuel - coolant interaction : structural characterization and solidification mechanism, 2012.</p> <p>[9] J.H.Kim, et al, The Influence of Variations in the Water Depth and Melt Composition on a Spontaneous Steam Explosion in the TROI Experiments, Proceedings of ICAPP' 04.</p> <p>[10] (財)原子力安全研究協会, 「シビアアクシデント対策評価のための格納容器イベントツリーに関する検討」, 平成13年7月</p> <p>[11] K.Moriyama, et al, Steam Explosion Simulation Code JASMINE v.3 User's Guide, JAEA-Data/Code 2008-014, 2008.</p> <p>[12] 片山, 高速衝突と爆発問題を中心とした諸分野における衝撃解析, 「第7回衝撃工学フォーラム(中級者のための衝撃工学入門)」, 日本材料学会, 平成20年11月</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
[13] Livermore Software Technology Corporation, LS-DYNA KEYWORD USER' S MANUAL VOLUME I, 2007.		
[14] T.Okkonen, et al, Safety Issues Related to Fuel-Coolant Interactions in BWR' S, NUREG/CP-0127, 1994.		
[15] T.G. Theofanous, et al, Steam Explosions: Fundamentals and Energetic Behavior, NUREG/CR-5960, 1994.		
[16] S. Basu, T. Ginsberg, A Reassessment of the Potential for an Alpha-Mode Containment Failure and a Review of the Current understanding of Broader Fuel-Coolant Interaction (FCI) issues, Report of the Second Steam Explosion Review Group Workshop (SERG-2), NUREG-1524, 1996.		
[17] O. Zuchuat, et al, Steam Explosions-Induced Containment Failure Studies for Swiss Nuclear Power Plants, JAERI-Conf 97-011, 1998.		
[18] M. Kato, et al, Fuel Coolant Interaction Tests using UO2 Corium under Ex-vessel Conditions, JAERI-Conf 99-005, 1999.		
[19] J.H. Song, Fuel Coolant Interaction Experiments in TROI using a UO2/ZrO2 mixture, Nucl. Eng. Des., 222, 1-15, 2003.		
[20] J.H. Kim, Results of the Triggered Steam Explosions from the TROI Experiment, Nucl. Tech., Vol.158 378-395, 2007.		
[21] NUCLEA Nuclear Thermodynamic Database, Version 2005-01.		
[22] NEA/CSNI/R, OECD/SERENA Project Report Summary and Conclusions, 2015.		
[23] Electric Power Research Institute (EPRI), MAAP4, Modular Accident Analysis Program User' s Manual, EPRI Report prepared by Fauske & Associates, Inc.		
[24] D. Magallon, Experimental investigation of 150-kg-scale corium melt jet quenching in water, Nucl. Eng. Des. 177 321-337, 1997.		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由
	添付3		添付3	
	溶融炉心とコンクリートの相互作用について		溶融炉心とコンクリートの相互作用について	
1.	まえがき	1.	まえがき	
2.	現象の概要	2.	現象の概要	
3.	これまでの知見の整理	3.	知見の整理	記載表現の相違 ・泊では3.に女川の付録1~3相当の内容を記載
4.	評価モデルと不確かさに関する整理	4.	<u>評価モデルと不確かさに関する整理</u>	
5.	感度解析と評価	5.	感度解析と評価	
6.	まとめ	6.	まとめ	
付録1	ドライ条件でのMCCI実験			
付録2	注水を伴ったMCCI実験			
付録3	溶融物の水中落下時の粒子化実験と解析モデル			
付録4	溶融物の拡がり実験	添付3-1	溶融炉心の水中での拡がり評価について	
付録5	粒子状ベッドの冷却性実験と解析モデル	添付3-2	<u>粒子状ベッドの冷却性実験と解析モデル</u>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>1. まえがき</p> <p>溶融炉心-コンクリート相互作用（MCCI）は、炉心溶融が進展し、溶融炉心が原子炉圧力容器底部を溶融貫通し、格納容器下部のペDESTAL床に落下した場合に発生する現象である。MCCIが継続すると、格納容器構造の侵食や非凝縮性ガス（水素ガス等）発生による格納容器過圧により格納容器破損に至る可能性があり、重要な格納容器破損モードと考えられてきており、これまで種々の実験や解析モデルの開発が行われてきている。これまでは、注水がないドライ条件でのMCCI挙動や溶融炉心上に注水した場合（Top Flooding）のMCCI抑制効果を調べる研究が主に行われてきた。</p> <p>MCCIの緩和対策として、溶融炉心落下後に注水する以外に、溶融炉心落下前にペDESTALに事前水張りするマネジメントが効果的とされており^[1]、本有効性評価ではこの対策を前提としている。事前水張りにより、溶融炉心が落下時に水中で粒子化され、溶融炉心が粒子状ベッドとして堆積し、デブリ冷却性の向上が期待されるためである（図1-1参照）。本資料では、国内外で実施された実験等による知見を整理するとともに、解析モデルに関する不確かさの整理を行い、感度解析により有効性評価への影響を確認した。</p> <div data-bbox="349 758 846 1204" data-label="Diagram"> </div> <p>図1-1 ペDESTAL事前水張りによるデブリ粒子化の概念</p>	<p>1. まえがき</p> <p>溶融炉心とコンクリートの相互作用（MCCI: Molten Core Concrete Interaction, 以下、「MCCI」と称す。）に関しては、国内外において現象の解明や評価に関する多くの活動が行われてきているが、現在においても研究段階にあり、また、実機規模での現象についてほとんど経験がなく、有効なデータが得られていないのが現状であり、不確かさが大きい現象であると言える。</p> <p>そこで、国内外で実施された実験等による知見を整理するとともに、解析モデルに関する不確かさの整理を行い、感度解析により有効性評価への影響を確認した。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2. 現象の概要</p> <p>MCCIは、溶融炉心が原子炉圧力容器下部を溶融貫通して格納容器床面に落下し、床面のコンクリートと接触した場合に発生し、高温の溶融炉心によりコンクリートが加熱され熱分解し溶融侵食される現象である。侵食が継続した場合、原子炉格納容器バウンダリの破損や格納容器内支持構造の強度低下に至る可能性がある。また、コンクリートの熱分解により発生する水蒸気及び二酸化炭素が溶融炉心内を通過する間に未酸化金属成分と反応して水素、一酸化炭素等の非凝縮性の可燃性ガスが発生し、原子炉格納容器内の過圧や燃焼に至る可能性がある。このような要因により格納容器破損に至る可能性があり、MCCIは重要な格納容器破損モードと考えられている。MCCIを停止するためには、落下した溶融物（コリウム）を冷却することにより、侵食限界に至る前にコリウムと接しているコンクリート温度を溶融温度（約1500K）以下にすることが必要となる。</p> <p>国内BWRでは、原子炉圧力容器破損前にペDESTALへ水張りをを行い、下部ヘッドが破損し溶融炉心が落下した際の溶融炉心の冷却を促進することにより、MCCIを緩和する対策を採っている。ペDESTALに落下した溶融炉心は、水プール中を落下する際に、一部は粒子化して水中にエントレインされ、残りは床面に落下して堆積し溶融プールを形成する。エントレインされたデブリ粒子は、水中を浮遊しながら水へ膜沸騰による熱伝達が行われて冷却され、クエンチし、溶融プール上に堆積し、粒子状ベッドを形成する。</p> <p>ペDESTAL床に堆積した溶融炉心は、崩壊熱や化学反応熱により発熱しているが、水やコンクリートへの伝熱により徐々に冷却され、溶融炉心温度が固化温度を下回ると固化する。溶融炉心の冷却の過程では、中心に溶融プール（液相）、外周部にクラスト（固相）が形成される。溶融炉心上のプール水との伝熱は粒子状ベッドを介して行われるため、冷却効果は、粒子状ベッドの冷却性に依存する。</p> <p>ペDESTALの溶融炉心と接触しているコンクリートは、溶融炉心からの熱伝達により加熱され、その温度が融点を上回ると溶融し侵食される。この際にガス（水蒸気及び二酸化炭素）及びコンクリートスラグが発生し、溶融炉心に混入されて化学反応（未酸化Zrによる還元反応）により、反応熱とともに水素ガスや一酸化炭素が発生する。</p> <p>MCCIによるコンクリート侵食量は、溶融炉心から上部水プール、壁方向及び床方向のコンクリートへの熱分配に支配される。国内BWRのMCCI対策としている事前水張りをしている場合には、溶融炉心上面からの除熱が支配的となるため、相対的にコンクリートへの熱移行は抑えられ、コンクリート侵食量は抑えられる。この場合には、上面熱流束が重要となる。また、万一事前水張りできず、溶融炉心上面からの除熱が十分でない場合は、コンクリートへの熱移行量が増え、コンクリート侵食量は大きくなる。この場合には、コンクリートへの熱伝達が重要となる。</p>	<p>2 現象の概要</p> <p>重大事故時には、溶融炉心と原子炉下部キャビティ床コンクリートの接触によって、コンクリートが侵食され、ベースマツト溶融貫通に至る可能性がある。このような溶融炉心とコンクリートの接触及びそれに伴って引き起こされる現象（コンクリートの侵食及び不揮発性ガスの発生）のことを、溶融炉心とコンクリートの相互作用（MCCI）と呼ぶ。</p> <p>国内PWRプラントでは、炉心損傷検知後に、原子炉下部キャビティへの水張りをを行うことにより、溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下した際の溶融炉心の冷却を促進することによりMCCIの防止及び緩和を行っている。原子炉下部キャビティに落下した溶融炉心は、原子炉下部キャビティ水との接触により、一部は粒子化して水中にエントレインされ、残りは原子炉下部キャビティ床面に落下して堆積し溶融プールを形成する。エントレインされたデブリ粒子は、水と膜沸騰熱伝達し水中を浮遊するが、冷却が進むと膜沸騰状態が解消され、溶融プール上に堆積する。</p> <p>原子炉下部キャビティ底に堆積した溶融炉心は、崩壊熱や化学反応熱により発熱しているが、原子炉下部キャビティ水及びコンクリートとの伝熱により冷却されるにつれて固化し、冷却が不足する場合には、中心に溶融プール（液相）、外面にクラスト（固相）を形成する。</p> <p>コンクリートは、溶融炉心との熱伝達により加熱され、その温度が融点を上回る場合に融解する。このとき、ガス（水蒸気及び二酸化炭素）及びスラグが発生し、溶融炉心に混入され化学反応する。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. これまでの知見の整理</p> <p>本章では、MCC Iに関する実験の概要及びそこで得られた知見に関して整理を行う。</p> <p>MCC Iに関する実験としては、水による冷却を伴わない実験として米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）で実施されたACE 実験^{[2][3]}、米国サンディア国立研究所（SNL）で実施されたSURC 実験^[4]（国際標準問題 ISP-24^[5]）及び独カールスルーエ研究所（KfK）で実施されたBETA 実験^[6]がある（付録1参照）。水による冷却を伴う実験（熔融物上に冷却水を注水した実験）としては、SNL で実施されたSWISS 実験^[7]及びWETCOR 実験^[8]、米国電力研究所（EPRI）の主催で実施されたMACE 実験^{[3][9][10]}、我が国の原子力発電技術機構（NUPEC）により実施されたCOTELS 実験^{[1][11]}、OECD プロジェクトとしてANL にて行われたMCC I 実験^{[10][12][13][41]}がある（付録2参照）。</p> <p>また、水中に熔融デブリを落下させ熔融物の粒子化を調べた実験としては、JRC-ISPR A にて実施したKROTOS 実験^[14]やFARO 実験^[14]、NUPEC にて実施したCOTELS-FCI 実験^{[1][16]}、スウェーデン王立工科大学（KTH）で実施されたDEFOR 実験^[16]がある（付録3参照）。</p> <p>ペDESTALでの熔融物の拡がり実験としては、水による冷却を伴わないドライ条件での実験として、国内BWR を対象にBWR 産業界が実施したSPREAD 実験^{[19][20]}や、EPR を対象とした実験が複数実施されており、ウェット条件での実験については実施例が少ないが、前述のSPREAD 実験やKTH のPULiMS 実験^[21]、ANL にて不均質に堆積させたデブリベッドの拡がりを確認したセルフレベリング実験^[22]が行われている。</p> <p>各実験の詳細は付録資料にて示す。以下に、実機評価に関連する知見の概要をまとめる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドライ条件でのコンクリート侵食（付録1参照） 熔融炉心に注水が行われない場合の侵食速度は、ACE 実験、SURC 実験及びBETA 実験で確認されている。また、MAAPコードによる実験解析が行われており、解析で得られた侵食速度は実験結果と良く一致している（1時間あたり20cm程度）^{[23][34]}。 ・ウェット条件（Top Flooding）でのコンクリート侵食（付録2参照） SWISS 実験、WETCOR 実験、MACE 実験では、熔融デブリ上面へ注水をした場合（Top Flooding）のコンクリート侵食実験が行われたが、結果として、デブリ上面に安定なハードクラストが形成されてデブリ内への水の浸入を妨げ、コンクリート侵食が継続する結果が得られた。コンクリート侵食が停止しなかった主な原因は、デブリ模擬物上面に形成されたクラストが側壁（側壁に耐火物を採用した一次元侵食実験）あるいは電極と側壁の両者に固着し、クラ 	<p>3 知見の整理</p> <p>本章では、MCCIに関する実験の概要及びそこで得られた知見に関して整理を行う。</p> <p>熔融物によるコンクリート侵食に関する実験としては、水による冷却を伴わない実験として米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）で実施されたACE 実験及び米国サンディア国立研究所（SNL）で実施されたSURC 実験（国際標準問題 ISP-24）がある。</p> <p>水による冷却を伴う実験（熔融物上に冷却水を注水した実験）としては、米国サンディア国立研究所（SNL）で実施されたSWISS 実験及びWETCOR 実験、米国電力研究所（EPRI）の主催で実施されたMACE 実験、原子力発電技術機構（NUPEC）により実施されたCOTELS 実験、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）により行われたCCI 実験がある。</p> <p>また、水中に熔融炉心を落下させた実験としては、スウェーデン王立工科大学（KTH）で実施されたDEFOR 実験がある。</p> <p>このように、MCCI 実験としては、水プールに熔融物を落下させた条件での実験結果はDEFOR 実験のみでありサンプルが少ないため、FCIに関する実験的知見も加味して、知見を整理する。</p> <p>一方、原子炉下部キャビティでの熔融物の拡がり実験としては、水による冷却を伴わないドライ条件での実験としては、国内BWR を対象とした実験、EPR を対象とした実験が複数実施されているが、ウェット条件での実験については実施例が少ないが、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）にて不均質に堆積させた粒子ベッドの拡がりを確認したセルフレベリング実験がある。</p> <p>さらに、OECD-MCCI プロジェクトで実施されたクラスト強度試験（SSWICS 試験）結果に基づき、クラストのヤング率と破損応力を解析的に求める研究がJNESによりなされている。</p> <p>以下、各実験及び解析研究について概要を纏めるとともに、知見を整理する。</p>	<p>※BWR とは知見の整理に関する資料構成が異なる。</p> <p>※3.2 に知見の整理を記載</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>トとその下のデブリ模擬物とが分離したことにより、デブリ模擬物の効果的な除熱がなされなかったためであるとされている。</p> <p>COTELS 実験では、溶融物の落下過程を含めて模擬したMCC I 実験が実施され、結果として、側壁侵食部に水が浸入し、コンクリート侵食が停止する結果が得られた。</p> <p>実機スケールで安定クラストが形成されるか否かを解明するため、OECD/MCCI プロジェクトが行われ、クラスト強度、クラスト浸水、二次元コンクリート侵食挙動等を分離効果的に調べる実験が実施された。その結果、実機スケールでは、安定クラストは形成されず、ハードクラストは割れて水が内部に浸入して冷却が促進されることや、MCC I により発生したガスにより溶融物がクラストの割れ目から噴出する火山型のクラストが形成されるとの結果が得られている。また、CCI 実験結果から玄武岩系コンクリートに侵食の異方向が見られる結果が得られている。</p> <p>これらの知見は、MCC I 評価のためにはデブリから水プールやコンクリートへの熱伝達の扱いが重要であることを示唆している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水張りによる溶融物の粒子化（付録3参照） <p>溶融物ジェットが水中へ落下する場合の粒子化挙動については、FCI 実験等により確認されている。粒子化割合は、主に水深やジェット径に依存し、粒径（質量中央径）は、比較的大きく、実験条件（初期圧力、水深、コリウム落下速度、サブクール度）に対する依存性は低いと報告されている。各UO₂ 混合物実験の平均的な粒子径は、溶融物量の多いFARO 実験では2.6～4.8mm[14]、COTELS 実験では6mm 程度^[16]である。また、粒子化割合を評価する解析モデルが提案されている（Ricou-Spalding 相関式^[25]やSaito の相関式^[26]等）。</p> ・溶融物の拡がり（付録4参照） <p>Mark-I 型格納容器のシェルアタックに関する研究^{[17][18][19][20]}により、事前水張りが、溶融物の拡がりを抑制し、シェルアタック防止に有効であることが確認されるとともに、溶融物の拡がりを評価する解析コードが作成されている。溶融物の拡がりには、デブリ落下流量、デブリ成分、デブリ過熱度が主に影響することが示されている。KTH では、水中での溶融物の拡がり挙動と固化性状を調べるPULiMS 実験^[21]が実施され、溶融物の拡がる過程は、流体力学と固化の二つの競合プロセスに支配されるとして、流体力学には重力、慣性力、粘性力及び表面張力が影響し、固化には溶融物から周囲への熱伝達、崩壊熱発生及び溶融物の相変化が影響するとして、実験と実機条件とを関連づけるスケーリング則の提案^{[20][27][28]}が行われている。また、独カールスルーエ研究センター（FZK）においてKATS 実験^{[29][29][30]}が実施され、溶融物の放出速度が比較的高い場合は、冷却材の有無によらず同様な拡がり挙動になることが示されている。溶融物の拡がり挙動の解析のために、種々の解析コードが提案されており、実験データを元に検証が行われている。三次元の拡がり評価も行われており、比較的大いベデスタルをもつABWR（ベデスタル半径約5.3m）の溶融物拡がり評価が実施され、床上に水がある場合でも、床全面に溶融物が拡がること示されている^[40]。</p> 		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>また、ANLでのセルフレベリング実験^[22]により、水プール中に不均質に堆積させた粒子状ベッドにおいて、内部沸騰によって短時間でベッドの厚さが均一化されることが示されている。</p> <p>・粒子状ベッドの冷却性（付録5参照）</p> <p>粒子状ベッドの冷却性については、ドライアウト熱流束が種々の実験で確認されており、主に粒子径に依存するとの結果が得られている。また、ドライアウト熱流束を評価する解析モデルがいくつか提案されているが、Lipinski0-Dモデル^{[24][31][32][33]}が広く使われている。</p>		
<p align="center">【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p> <p>(2)ACE 実験（米国ANL）^{[3][23][34]}</p> <p>MCCIにおける熱水力学的及び化学的プロセスを検証し関連コードのデータベースを拡充することを目的に、国際プログラムとしてACE（Advanced Containment Experiments）計画の一部として実施された。Phase-CでMCCI時のFPエアロゾル放出の定量化の目的で実験が実施された。実験装置の概要を付図1-4に示す。実炉組成の約300kgの模擬デブリを使用し、タングステン電極により直接通電により加熱し熔融させている。コンクリート侵食はベースマット中にある熱電対によりモニターされている。実験マトリックスを付表1-1に示すが、実験はコンクリートの種類やデブリの組成を替えて実施された。</p> <p>L2実験のコンクリートの侵食深さのMAAP解析との比較を付図1-5に示すが、MAAP解析結果とよい一致を示している。</p>	<p>3.1 MCCI 実験の概要</p> <p>(1) ACE 実験¹</p> <p>ACE 実験は、MCCIにおける熱水力学的及び化学的プロセスを検証し関連コードのデータベースを拡充することを目的として、国際的に支援されたACE（Advanced Containment Experiments）プログラムの一部として米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）で実施されたものである。</p> <p>¹ OECD/NEA “Second OECD (NEA) CSNI Specialist Meeting on Molten Core Debris-Concrete Interactions,” NEA/CSNI/R(92)10.</p> <p>実験装置を図3.1-1に示す。4方向の壁（水冷式パネル）で囲まれた中には、コンクリートベースマット、コンクリートメタル挿入物、熔融炉心が入っている。内側表面には25個のタングステン電極を備えた類縁型アセンブリがあり、それらは4つのタングステンコイルで熔融炉心頂部付近に接続されて、熔融炉心を加熱する。設備の大きさは53.0cm×50.2cmである。長方形の2枚式の蓋（水冷式）があり主ガス管に繋がっている。蓋には、エアロゾル収集ならびにガスサンプリング及び排気口用のポートが1つと、熔融炉心監視用ポート（光学温度計とビデオカメラ付き）が3つ付いている。熔融炉心組成はUO₂を含み粉末状で均一にブレンドされた状態である。ACE実験のうち、PWR向けに実施されたケースL2及びL6の熔融炉心組成及びコンクリート成分を表3.1-1に示す。実験中、熔融炉心はタングステンの電極で加熱され熔融プールを形成する。コンクリート侵食はベースマットの中にある熱電対によりモニターされる。なお、本実験は、冷却水の注水を行わない、ドライ条件で行われたものである。</p> <p>ケースL2は、一部分酸化したPWR燃料の熔融炉心とケイ土系コンクリートとの相互作用に関する実験である。実験結果を図3.1-2に示す（本図では、MAAPコードによるベンチマーク解析結果も掲載している）。実験における伝熱量は平均220 kW、側壁への熱損失は平均120 kWで、これらを境界条件として与えており、約100 kWがコンクリートの加熱に寄与しており、垂直方向へのコンクリート侵食率の平均は7.8 mm/分であった。侵食開始時の熔融プール温度は2,400 Kでその後もその温度を維持している。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p align="center">【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>	<p>ケースL6は、制御棒の材質を含む一部分酸化した溶融炉心とケイ土系コンクリートとの相互作用に関する実験である。実験結果を図3.1-3に示す（本図では、MAAPコードによるベンチマーク解析結果も掲載している）。本ケースでは、実験開始時の侵食率は低めであったが、徐々に上昇し、最終的な侵食深さは40分の時点で13cmに至っており、実験とほぼ同等の侵食深さに到達している。</p>	
<p>(1) SURC 実験（米国 SNL）^{[4][23][34]}</p> <p>MCC I 時の伝熱、化学反応、ガス及びエアロゾルの放出等を調べ、CORCON等の解析コードを検証・改良することを目的にSNLにて4回実験が実施された。そのうち実機と同様の組成のUO₂ デブリを使用した実験は2回実施された（SURC-1, 2。他の2回の実験は模擬デブリとしてSUS304が使用された）。実験装置の概要を付図1-1に示すが、直径40cmのコンクリート試験体（SURC-1実験では石灰岩系（米国で使用されている）、SURC-2実験では玄武岩系のコンクリートを使用）を入れたMgO製の円筒容器に約250kgの模擬デブリ（組成：UO₂ 69%、ZrO₂ 22%、Zr 9%）を誘導加熱して溶融させてコンクリートとの反応を継続させた。SURC-2のコンクリートの侵食深さの変化を付図1-2に示すが、侵食速度は1時間に20cm程度となっている。</p> <p>また、SURC-4は、コード比較のための国際標準問題（ISP-24）^[5]に選定され、実験データと種々の解析の比較が行われている。200kgのステンレス鋼と模擬FP（Te:0.5kg, La₂O₃:1.17kg, CeO₂:1.23kg, BaO:1.1kg）が、コンクリート侵食が開始するまで加熱され、侵食開始後14分経ってから約0.5秒間に追加的に20kgのジルコニウムが溶融物に添加されている。SURC-4のコンクリートの侵食深さの変化を付図1-3に示すが、侵食速度は約55分の時点で24.5~27.5cmで、MAAP解析結果とよい一致を示している。なお、SURC-4実験では外周部のコンクリート侵食深さが大きくなっており、MAAP解析結果と若干相違が見られるが、これは実験では外周部から誘導加熱して溶融物を加熱しているため、外周部の溶融物への入熱量が大きくなるのが原因と考えられる。したがって、MAAPとの相違は、実験固有の原因と考えられるため、ベンチマーク解析の観点からは問題とはならないと考えられる。</p>	<p>(2) SURC-4 実験²</p> <p>SURC-4（Sustained Urania-Concrete Interaction-4）は米国サンディア国立研究所（SNL）で行われたMCCI実験の一つである。本実験は、コード比較のための国際標準問題（ISP-24）に選定されている。実験装置の概念図を図3.1-4に示す。円筒状の反応るつぼがアルミの原子炉格納容器内に設置されている。アニュラス部とるつぼの蓋はMgOでできている。るつぼの大きさは、直径60cm×高さ100cm、MgO製アニュラスと蓋の厚さは10cmである。反応るつぼの床は厚さ40cmの玄武岩系コンクリートであり、温度記録用の熱電対が設置されている。200kgのステンレス鋼（約Fe:73%、Cr:19%、Ni:8%）と模擬核分裂生成物（FP）（Te:0.5kg, La₂O₃:1.17kg, CeO₂:1.23kg, BaO:1.1kg）は、コンクリート侵食が開始するまで加熱される。化学反応とガス放出の影響を観察するため、侵食開始後14分経ってから約0.5秒間に追加的に20kgのジルコニウムを溶融物に添加している。</p> <p>² “International standard problem No 24: ISP-24: SURC-4 experiment on core-concrete interactions,” NEA/CSNI-155, 1988.</p> <p>実験結果を図3.1-5に示す（本図では、MAAPコードによるベンチマーク解析結果も掲載している）。観測されたコンクリート侵食深さは約55分の時点で24.5~27.5cmである。</p>	
<p align="center">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>		
<p>(1) SWISS 実験（米国 SNL）^[7]</p> <p>高周波加熱によりステンレスを溶融させ、溶融したステンレスとコンクリートとの反応中に注水し、溶融物の冷却性を調べる実験が2回行われた。実験結果2回とも同様の結果となっており、メルト上面に安定なクラスタが形成されてメルト内部に冷却水が浸入しにくくなり、メルトによりコンクリートの侵食が継続した（付図2-1参照）。ただし、本実験はメルトの発熱が実機で想定される値より1桁程度大きいことや100%ステンレスであるため模擬崩壊熱に加え、水-金属反応の発熱が加わったことも一因と分析されている。またコリウムより上方水プールへの熱流束は約800kW/m²程度であった（付図2-2参照）。</p>	<p>(3) SWISS 実験³</p> <p>SWISS 実験は、米国サンディア国立研究所（SNL）において実施された溶融物とコンクリートの相互作用及び溶融物冷却に関する実験で、MCCI挙動に及ぼす水プールの影響を調べることを目的として2回実施されている。</p> <p>³ “SWISS: Sustained Heated Metallic Melt/Concrete Interactions with Overlying Water Pools,” NUREG/CR-4727, SAND85-1576</p>	
	<p>実験装置を図3.1-6に示す。コンクリートは、直径20cmの石灰岩系コンクリート円板が使用されている。溶融物は46kgのステンレス鋼（SUS304）で、模擬FPの量は1.75kgである。これらは高周波加熱により加熱される（1.3~1.7W/g）。SWISS-1実験では、コンクリート侵食が準定</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p> <p>(2) WETCOR 実験（米国 SNL）^[6] Al_2O_3 と CaO の酸化物混合熔融物 34kg を用いてコンクリートとの反応中に注水し熔融物の冷却性を調べる実験が行われた（付図 2-3 参照）。SWISS 実験と同様の理由によりコンクリートの侵食が継続した。コンクリート侵食速度は SWISS 実験と比べて約 1/3 に低下している。水プールへの熱流束は熔融時に $520kW/m^2$ 程度、凝固時に $200kW/m^2$ 程度であった。</p>	<p>常となった時点（侵食量 12cm）で熔融物上に注水し、SWISS-2 実験では、熔融物がコンクリートと接触した直後に注水している。</p> <p>SWISS-1 実験及び SWISS-2 実験におけるコンクリート侵食の推移を図 3.1-7 に示す。両実験では、注水タイミングが異なっているが、コンクリートの侵食状況は同等な結果となっている。これは、熔融物の上面（熔融物と水プールの界面）に強固なクラストが形成され熔融物の内部に水が浸入しにくくなっていったことと、熔融物の発熱が実機で想定されるよりも約 1 桁大きかったこと、さらに、100%ステンレス鋼であったため金属-水反応による発熱が加わったことが要因であると分析されている。熔融物から水プールへの熱流束は、SWISS-2 の結果より、約 $0.8MW/m^2$ であり（図 3.1-8 参照）、この値は限界熱流束の計算値よりも小さく、核沸騰による計算値に近いと分析されている。</p> <p>(4) WETCOR 実験⁴ WETCOR 実験は、米国サンディア国立研究所（SNL）で実施された MCCI 実験であり、熔融物として、Al_2O_3、CaO、SiO_2 の混合物を直接通電加熱したものをを用い、直径 0.4m の石灰岩系コンクリートとの反応中に注水し、熔融物の冷却性を調べた実験である。実験装置の概要を図 3.1-9 に示す。</p> <p>⁴ NUREG/CR-5907, "Core-Concrete Interactions with Overlying Water Pools," Sandia National Laboratories, November 1993.</p> <p>WETCOR-1 実験結果では、熔融状態の部分が存在する期間にクラストを通して水へ伝熱した熱流束は $0.52 \pm 0.13MW/m^2$、入熱を停止し全体が固化した以降の熱流束は $0.25 \pm 0.08MW/m^2$ 及び $0.20 \pm 0.08MW/m^2$ であったことが報告されている。これらは表 3.1-2 に示すように、入熱期間の最後に相当する 557 分から 563 分での熱流束が $0.52 \pm 0.13MW/m^2$、582.4 分での熱流束が $0.25 \pm 0.08MW/m^2$、589.0 分での熱流束が $0.20 \pm 0.08MW/m^2$ である。図 3.1-10 に入熱履歴を示すが、入熱終了は正確には 554.9 分である。注水開始は 529.0 分である。</p> <p>コンクリート侵食推移及び温度履歴を図 3.1-11~14 に示す。コンクリートの半径方向の中心部では試験開始後約 470 分から急速に侵食が早まり、注水開始までに 1~3cm 侵食されており、注水後も継続して、入熱終了の 555 分で 5~6cm となっている。中間部では 515 分までは侵食は起きていないが、555 分までは継続した。外周部では局所的には 410 分から侵食が開始し、注水時点で約 2cm になっている。熔融物温度を図 3.1-15 に示す。約 560 分までは約 1800K で一定となっているが、その後は緩やかに低下し、580 分頃には約 1500K まで低下している。</p> <p>実験後の熔融物の固化状態及びコンクリート侵食状態を図 3.1-16 に示す。半径方向には場所により侵食挙動に違いがあるが、最終的には全体的に約 5cm の侵食深さになっている。もとの</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>コンクリート表面であった位置には空洞が形成されており、その上にはクラストがブリッジ状に形成されている。クラスト厚さは場所により異なるが、外周部では10±1cm、中心部で3.8cmから4.5cmであった。上記熱流束は中心部でのクラスト厚さ平均値として4.2cm±0.4cmとして算出されたものである。クラストにはひび割れは生じていなかったことが報告されている。空洞の形成過程については文献に記載されていないが、注水開始時には激しい沸騰が起き、水プールの出来てから40秒間、メルト球体が水中を浮上し沈降する挙動が観察されている。この現象はクラストのギャップから水が入り、その突沸によりメルトが一時的に噴出したものと推定されている。注水後早期に堅固なクラストが形成され、侵食とともに空洞部が成長したことが推測できる。</p> <p>以上より、水への熱流束0.2MW/m²は、溶融炉心が完全固化し、温度も低下し、コンクリート侵食も進んでいない状態の値である。</p>	
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>		
<p>(3) MACE 実験 (米国 ANL) ^{[3][9][10][20]}</p> <p>MACE 実験 (Melt Attack and Coolability Experiment) は、米国電力研究所 (EPRI) が主催する原子炉格納容器内溶融炉心冷却性に関する国際協力計画である。この実験では、溶融炉心がコンクリート床に落下した後に、溶融炉心の上に注水する状況を模擬しており、大規模実験が含まれていることと、実機相当のUO₂及びZrO₂を主成分とする溶融炉心模擬物を用いて、さらに、直接通電加熱により崩壊熱の発生を模擬していることが特徴である。</p> <p>実験装置の概要を付図2-4に示す。MACE 実験では規模の異なるM0、M1b、M3b、M4の4回の実験が実施されており、その主要条件を付表2-1に示す。M0実験のみコンクリートの側壁で、その他はMgOが用いられている。</p> <p>M3bとM4の実験結果を付図2-5及び付図2-6に示す。いずれのケースもコンクリート侵食が継続する結果となっている。実験後の溶融炉心模擬物の固化状況を見ると、メルト上部に安定クラストが形成され側壁に固定化されており、クラスト下部に空洞が見られ、クラストと溶融物とが分離した状態になっている。メルトから冷却水への熱流束を見ると、注水直後の短期間は、大きい熱流束となっているが、安定クラストが形成されクラストと溶融物が分離したと想定される状況では、熱流束は低下している。安定クラストの形成と</p> <p>メルトとの分離によりクラストの下にあるデブリの冷却が阻害される結果となったと分析されている。しかしながら、デブリの長期的な冷却に関与し得るメカニズムとして、クラストに生じる亀裂等への浸水及びコンクリート分解ガスによるクラスト開口部からのデブリの噴出が確認されている。</p>	<p>(5) MACE 実験 ⁵</p> <p>MACE 実験 (Melt Attack and Coolability Experiment) は、米国電力研究所 (EPRI) が主催する原子炉格納容器内溶融炉心冷却性に関する国際協力計画である。MACE 実験装置の概要を図3.1-17に示す。また、MACE 実験では規模の異なるM0、M1b、M3b、M4の4回の実験が実施されており、その主要条件は表3.1-3に示すとおりである。</p> <p>⁵ M.T.Farmer, et al., " Status of Large Scale MACE Core Coolability Experiments," OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, 1999.</p> <p>MACE 実験ではUO₂, ZrO₂, Zrといった実炉心模擬物に少量のコンクリート成分を付加した溶融物を使用している。M0実験では30cm×30cmのテスト部に130kgの溶融物、M1b実験では50cm×50cmのテスト部に480kgの溶融物を使っている。M0実験では、テスト部の側壁にコンクリートを用い、横方向への侵食も可能としている。M1b実験はMgO製のつぼを用いており、下方向のみの侵食になる。</p> <p>M0実験での水プールへの熱流束測定結果を図3.1-18に示す。注水は侵食が1.3cmとなった時点、中心部で侵食開始から4分後に開始された。最初の3分間は4MW/m²あり、熱的には全体の融解熱に相当する程度の除熱が行われた。これにより、安定したクラストが形成され、その後30分は約0.7MW/m²で推移し、さらにその後は徐々に低下して最後には0.15MW/m²まで低下した。図3.1-19に示すように、安定化クラストはタングステン電極に固着しており、最初にクラストが形成された高さに留まっていた。クラストと溶融物の間に空間が形成されたのが約30分後と推定されており、これにより30分以降の熱流束が低下したと考察されている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>	<p>M1b 実験での水プールへの熱流束測定結果を図 3.1-21 に示す。注水は侵食が 5.0cm となった時点、中心部で侵食開始から 14.7 分後に開始された。最初は 4MW/m² あり、30 分間で徐々に約 0.5MW/m² まで低下している。この期間に約 90kg が固化し、クラストを形成したと見積もられている。その後の 30 分間で約 0.4MW/m² に低下し、それ以降は入熱と同等の熱流束となっている。図 3.1-22 に示すように、クラスト厚さは約 6cm であり、熱伝導だけではこれだけの熱流束を得られないため、クラストは透水性があると考察されている。クラストはるつぽ壁に固着し、9cm 高さの空洞が形成されている。空洞の形成は 50 分頃と推定されている。よって、0.5MW/m² より小さい熱流束はクラストが分離した形態での値である。図 3.1-23 に溶融物温度変化を示す。水への熱流束が 0.2MW/m² で推移する期間は、おおむね溶融物温度が 1500K 前後となっている。</p>	
<p>(4) COTELS 実験（日本 NUPEC）^{[1][11]}</p> <p>プール水中に実機組成の UO₂ コリウムを落下させる実験（FCI）とコンクリート上に落下した UO₂ コリウムに注水する実験（MCCI）を実施している。付図 2-7 にコンクリート上の UO₂ コリウムに注水する実験の実験装置を示す。約 60kg の実機組成の UO₂ コリウムを電気炉で加熱溶融させ、玄武岩系のコンクリート床上に落下させ、その後高周波誘導加熱によりコンクリート上のコリウムを加熱して崩壊熱を模擬している。側壁と床面の両方の侵食を考慮しており、コリウムの高さや直径の比を実験パラメータとしている。注水後にコンクリート温度は低下している。また、侵食深さは 2cm 程度であった。また、付図 2-8 に実験後に固化したコリウムの断面を観察した結果を示すが、上部は粒子状になっており、下部はインゴット状になっているのが観察されている。また、インゴット状の部分にはひび割れや流路が見られる。</p> <p>COTELS 実験では、いずれもデブリによるコンクリート侵食が生じているが、先行の SWISS, WETCOR, MACE とは異なり、コンクリート侵食は停止している。これは、以下の理由と分析されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デブリの粒子化と塊状デブリ上への粒子化デブリの堆積 ・デブリとコンクリートとの境界における粗骨材を主体とする多孔質層の形成 ・粗骨材層及び塊状デブリに形成された流路への浸水 <p>溶融物から水プールへの熱流束は水プールへの熱流束は 100～650kW/m² 程度であったが、これらの熱流束は限界熱流束よりも低く、水が更に高い除熱能力を有する可能性があることが示唆されている。</p>	<p>(6) COTELS 実験（テスト B 及び C）⁶</p> <p>COTELS 計画は（財）原子力発電技術機構（NUPEC）が圧力容器外の溶融炉心冷却特性を調べる試験であり、この計画のテスト B 及び C は、溶融物上に注水した際の FCI（テスト B）と MCCI（テスト C）を検討するための実験であり、テスト B と C は引き続き実施された一連の実験である。</p> <p>⁶ Hideo Nagasaka, et al., "COTELS Project (3) : Ex-vessel Debris Cooling Tests," OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, 1999.</p> <p>実験装置を図 3.1-24 に、試験条件及び結果の一覧を表 3.1-4 に示す。溶融物の重量は 60kg で UO₂ の融点より高い 3200K まで誘電加熱された。溶融物のタイプ A は TMI 事故の溶融物を模擬した組成、タイプ B は下部プレナムにより多くの金属が含まれることを想定し、金属の割合を増やした組成である。コンクリートトラップの内径は 0.36m あるいは 0.26m である。ここで、0.26m は他の実験（WETCOR, MACE-MO 及び MACE-M1b）との比較のためアスペクト比（高さや直径の比）を 0.5 としたものである。コンクリートは国内プラントのセメント成分を模擬した玄武岩系コンクリートである。コンクリート内部には温度計測用の熱電対が配置されている。落下後の溶融物は、崩壊熱を模擬して誘電加熱され、75kW は崩壊熱の 11 倍に相当する。注水は、室温水を Jet もしくは Spray で 0.02～0.2kg/s の質量流量で試験開始 6～15 分後に行っている。</p> <p>ケース 5a は、溶融炉心落下後の崩壊熱の模擬（誘電加熱）を行わず、注水も行わなかったケースであるが、約 2 割が粒子化している。これは、コンクリート侵食に伴って発生した気体により溶融炉心の粒子化が生じたと分析されている。粒子の径については、ケース 5a とケース 5 で同等の粒子径分布が確認されており、溶融炉心と水の相互作用ではなく、コンクリート侵食により発生した気体により粒子化が生じたものであると考えられている。</p> <p>アスペクト比の観点では、図 3.1-25 にケース 5 とケース 9 のコンクリート温度の時間変化を示すが、アスペクト比が大きいケース 5 では、溶融炉心の全体量に対する上面の面積が小さい</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>ため、初期に溶融炉心の熱量がコンクリートに多く伝わっていることを示している。両ケースとも注水後3～4分でコンクリートの温度が低下に転じており、注水による冷却効果が確認でき、特に早めに注水したケース9では効果が高いことが分かる。さらに、注水が遅いケース10においてコンクリート侵食深さが最大となっていることから、水による冷却効果が確認できる。</p> <p>固化した溶融炉心表面から水への熱流束は、SWISS、WETCOR、MACEの結果に近い200～700 kW/m²であった。この結果は容器内圧力がほぼ一定状態の時の値とされている。なお、これらの熱流束は限界熱流束よりも低く、水が更に高い除熱能力を有する可能性があることを示唆している。実験レポートでは0.2MW/m²時における溶融炉心状態についての記述はないが、側壁コンクリートが侵食されてギャップが形成されたことで、溶融炉心冷却が促進され、コンクリート侵食が停止したと説明されている。図3.1-26に固化した溶融炉心の断面図を示す。溶融炉心下面にはコンクリートから分離した砂利がベッド状に堆積しており、溶融炉心底部からの冷却を促進したことが述べられている。また、その他に侵食が停止した要因としてさらに、アスペクト比が小さく水による冷却の効果があつたこと、塊状溶融炉心が侵食により落下する過程で生じたクレパスに水が入り込み冷却されたことなどが要因であると分析されている。</p> <p>COTELS 実験の特徴は、側壁にクラストが固着しなかった点で他実験と比べて実機に近い状況となっており、コンクリート壁と溶融プールの境界に形成されたギャップが冷却を促進した点を実機解析への知見として参照できる。</p>	
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】</p> <p>(1) FARO 実験（イタリア JRC-ISPRA）^{[1][4]}</p> <p>主に原子炉圧力容器内で溶融物が炉心から下部プレナムの水プールに落下した場合の水蒸気爆発発生の可能性を調べることを目的とした実験で、当初は高圧での実験を対象としてきたが、後に低圧での実験が3ケース実施された。高圧実験装置の構成は、FARO るつぼと実験容器 TERMOS（内径：710mm、体積：1.5m³）である（付図3-1参照）。低圧実験装置ではFATと呼ばれる実験容器の中にTERMOSと同一内径の円筒容器が置かれ、観測窓が設置された。実験手順は原則的に高圧実験も低圧実験も同様で、FARO るつぼで生成された溶融コリウムは一度リリースベッセルに保持し、その底部にあるフラップ又は弁を開放して溶融物を水プールに落下させる。高圧実験ではリリースベッセルは溶融物落下速度を調整するために加圧可能である。ほとんどの実験は酸化コリウム（80wt%UO₂+20wt%ZrO₂）で実施され、テストL11のみが金属Zrを含むコリウム（77wt%UO₂+19wt%ZrO₂+4wt%Zr）が用いられた。また、多くの実験は高圧・飽和水条件で実施されたが、近年は低圧・サブクール水条件でも3ケース実施されてきている。主な実験パラメータは、初期圧力（0.2～6MPa）、コリウム質量（18～177kg）、水深（87cm～2.05m）、サブクール度（飽和～124K）、コリウム組成（1ケースのみ金属Zrを4.1wt%追加）である（付表3-1参照）</p> <p>実験からの主な知見は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧・飽和水実験、低圧・サブクール実験の何れにおいても水蒸気爆発は発生していなかった。 	<p>(7) FARO 実験</p> <p>欧州 JRC（Joint Research Center）のイスプラ研究所における実験であり、圧力容器内を対象に溶融物が水プールに落下した場合の水蒸気爆発の発生を調べることを目的として高圧条件での実験が行われてきたが、圧力容器外を対象とした低圧条件での実験も行われている。実験装置の概要を図3.1-27に示す。実験手順は、高圧条件と低圧条件とで同様であり、るつぼ内でUO₂混合物（80wt%UO₂+20wt%ZrO₂あるいは77wt%UO₂+19wt%ZrO₂+4wt%Zr）を溶融させ、るつぼ底部のフラップを開放することにより、水プールに落下させる。実験条件は、表3.1-5に示すとおりであり、UO₂混合物は18～176kg、水プールの水深は0.87～2.05m、水プールのサブクール度は飽和～124Kの範囲で変動させ複数のケースが行われている。また、高圧条件として2～5.8MPa、低圧条件として0.2～0.5MPaである。</p> <p>溶融物の粒子化量については、水プールの状態によりその割合が変化している。原子炉容器内FCIを模擬したケース（高圧条件かつ低サブクール度）では、水深1mの場合で、溶融物の約半分が粒子化し、残りは溶融ジェットのまま水プール底に到達して堆積する結果となっている。一方、原子炉容器外FCIを想定したケースとして、金属ジルコニウムを含む場合（L-11）や低圧で高サブクール度の場合（L-24～33）では、ほとんどが粒子化する結果が得られている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<ul style="list-style-type: none"> いずれの実験においても、コリウムの一部が粒子化し、一部はパンケーキ状としてプール底部に堆積した。プール水中に設置した熱電対の測定結果より、一部のコリウムはジェット状でプール底面に衝突したと推定されている（付図3-2参照）。 粒子化割合は、ほとんどの実験でプール水深に依存し、高圧飽和水実験の水深1m程度で落下コリウムの約50%が粒子化した。コリウムに少量の金属Zr（4.1wt%）を添加した場合と低圧のサブクール水の実験では100%近くが粒子化した（付図3-3参照）。 粒子の質量中央径は比較的大きく、3.2～4.8mmの範囲であり、実験パラメータ（初期圧力、水深、コリウム落下速度、サブクール度）に依存していない。 	<p>また、観測された粒子の径は3.2～4.8mmであり、初期圧力、水深、サブクール度、熔融物落下速度への依存性は低いと報告されている。</p>	
【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】		
<p>(2) COTELS-FCI 実験（日本 NUPEC）^{[1][16]}</p> <p>本実験は、原子炉圧力容器外でのFCI挙動を調べるために実施された。UO₂混合物を熔融物として用い、その成分は原子炉内構造物のみならず、原子炉圧力容器下部ヘッド内の下部構造物も考慮して設定されている。付図3-4にCOTELS-FCI実験装置の概要を示す。実験装置は、UO₂混合物を熔融させる電気炉とその下に熔融物と水との相互作用を調べるメルトレシーバより構成されている。電気炉は、グラファイト製のつぼと高周波誘導加熱コイルにより構成されている。グラファイト製のつぼは最高温度3200Kで、60kgのUO₂混合物を加熱熔融可能である。つぼ下部には、熔融物を落下させるための穴を設けるプラグ破壊装置が設置され、UO₂混合物が熔融後、瞬時に直径5cmの穴が作ることが可能である。メルトレシーバは、高さ約2.5m、外径約90cmで円筒状をしており、メルトレシーバの中には、高さが可変のメルトキャッチャーが設置されており、メルトキャッチャーの高さを変化させることによりプール水深を変化させる実験を実施しており、雰囲気体積は変化させないように考慮されている。メルトキャッチャーの中心部は、実炉の格納容器床面を模擬するために厚さ3cmのコンクリートが設置され、熔融コリウム/水/コンクリート間の相互作用を調べることが可能となっている。なお、コンクリートの成分は日本と同じ玄武岩系である。実験マトリクスと主な結果を付表3-2に示す。</p>	<p>(8) COTELS 実験（テストA）</p> <p>COTELS計画は（財）原子力発電技術機構（NUPEC）が圧力容器外の熔融炉心冷却特性を調べる試験であり、この計画の中で熔融物が水プールに落下したときの水蒸気爆発の発生有無を調べる実験として、カザフスタン国立原子力センター（NNC：National Nuclear Center）の施設を用いた実験が実施されている。</p> <p>実験装置の概要を図3.1-28に、実験条件及び結果の一覧を表3.1-6に示す。この実験では、軽水炉のシビアアクシデント挙動解析結果に基づいて試験条件が設定され、具体的には、軽水炉のシビアアクシデントでは、原子炉容器内圧が低圧で破損するシーケンスが支配的であり、かつ、原子炉容器の破損として貫通部の破損を考慮している。また、LOCAを起因とするシーケンスが支配的であることから、原子炉格納容器床面の水プールは飽和水（サブクール度0～86K）とし、水深は0.4～0.9mである。また、熔融物は、UO₂：55wt%、Zr：25wt%、ZrO₂：5wt%、SS：15wt%の混合物であり、下部プレナム内の構造物も考慮して多くの金属成分を含むよう模擬したものである。この熔融物は、圧力ヘッド計装配管の径に相当する5cm径のジェットで水プールに落下させている。</p> <p>粒子化量に関しては、水深0.4mにおいても、ほとんど（90%以上）が粒子化しており、粒子径は多くのケースで約6mmであったが、落下速度が速い場合には径が小さくなる傾向が確認されている。初期の圧力上昇幅と粒子径には相関があり、初期圧力上昇は粒子化した熔融物からの熱伝達が支配的であると報告されている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録4から抜粋】</p>		
<p>(4) 粒子状ベッドの拡がり^[22] ANLでは、水プール中に不均質に堆積させたデブリベッドが、内部の沸騰により均一化する様子を確認するため、水プール中にUO₂、SUS、Cuの0.2～1mm程度の粒子ベッドを非均一の厚さに堆積させ、誘導加熱により崩壊熱発生を模擬させた実験^[22]を行っている。付図4-10に粒子ベッド厚さの均一化の概念図を示す。非均一の厚さに堆積した粒子ベッドは、誘導加熱により粒子ベッド内に沸騰が生じ、粒子が吹き上げられて再堆積する過程で厚さが均一化し、均一化に要した時間は2～3分程度であると報告されている。</p>	<p>(9) セルフレベリング実験⁷ ⁷ J. D. Gabor, L. Baker, Jr., and J. C. Cassulo, (ANL), "Studies on Heat Removal and Bed Leveling of Induction-heated Materials Simulating Fuel Debris", SAND76-9008 この実験は、水プール中に不均質に堆積させた粒子ベッドが、内部の沸騰により拡散する様子を確認した実験である。 実験条件の一覧を表3.1-7に示す。実験は、水プール中にUO₂、SUS、Cuの0.2～1mmの粒子ベッドを非均一の厚さに堆積させ、誘導加熱により崩壊熱発生を模擬させたものである。 図3.1-29に実験前後の粒子ベッド概念を示す。非均一の厚さに堆積された粒子ベッドは、誘導加熱により粒子ベッド内に沸騰が生じ、粒子が吹き上げられ再堆積する過程でベッドの厚さが均一化されている。ここで、均一化に要した時間は約2～3分であると報告されている。</p>	
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】</p>		
<p>(3) DEFOR 実験（スウェーデン KTH）^[16] 水張り時のデブリ冷却性を調べる目的で実施されている。溶融物の粒子化について、水サブクール、水深、メルト成分、過熱度等の影響を調べるために、溶融物の落下実験が実施されている。実験装置を付図3-5に示すが、上から、誘導加熱炉、メルト容器、冷却タンクより成り、冷却タンクはガラス張りで粒子化の観察が可能となっている。溶融物はメルト容器下部のノズルから重力落下により水中に落下する。DEFOR-E 実験の実験マトリックスを付表3-3に示すが、6ケースの溶融物はCaO-B₂O₃（密度2500kg/m³）の酸化物が使用されており、1ケースはより重量の大きいWO₃-CaO（密度5000～8000kg/m³）が使用されている。 実験結果より、粒子化挙動は、水サブクールと水深の影響が大きいとしている。実験後のデブリ状態例を付図3-6に示すが、平均ポロシティは0.55～0.7程度と大きい値が得られている。主な結果を付表3-3に併せて示す。</p>	<p>(10) DEFOR-A 実験^{8,9,10} DEFOR (Debris Bed Formation) 計画は、スウェーデン王立工科大学で実施されており、種々の条件で水プールに模擬溶融物が投入された際の、溶融炉心の細粒化試験である。 ⁸ P. Kudinov and M. Davydov "PREDICTION OF MASS FRACTION OF AGGLOMERATED DEBRIS IN A LWR SEVERE ACCIDENT", NURETH14-543 ⁹ Pavel Kudinov, et al., "Fraction of Agglomerated Debris as a Function of Water Pool Depth in DEFOR-A Experiments". ¹⁰ Pavel Kudinov, et al., "Development of Ex-Vessel Debris Agglomeration Mode Map for a LWR Severe Accident Conditions," ICON-17, Brussels, 2009. なかでも DEFOR-A 試験は水深に応じた粒子化割合を調べることを目的にしたものである。試験装置を図3.1-30に示す。DEFOR-A 実験では、るつぼ型誘導炉により加熱された模擬溶融物を、ファンネル及びノズルを通じて大気圧条件の水タンクに注入する。ここでノズル径、即ちデブリジェット径は可変となっている（以下、実機に対しても、炉心あるいは下部プレナムから落下する溶融炉心の意味で「デブリジェット」を使用する）。水タンクのサイズは、断面が0.5m×0.5m、高さが2mであり、ノズル高さを差し引くと最大でタンクの床から放出口までの高さは1.7mとなっている。 次に、試験条件の一覧を表3.1-8に示す。ノズル高さは1.7m（一部のケースは1.62m）に設定され、模擬溶融物は深さ1.5m前後の水プールに注入される。また、溶融炉心キャッチャーの高</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>さが水面から0.6m、0.9m、1.2m、1.5mと4段階に設定され、水面からの落下距離の影響も確認している。その他主要な試験条件として、模擬溶融物の過熱度は78～206K、ジェット径は10～25mmの範囲で設定している。ジェット径が太く、溶融物の過熱度が小さく、定性的にケーキ状溶融炉心が形成されやすいのはA8試験である。</p> <p>次に、試験結果について述べる。A8試験で一番水深が浅いキャッチャー1に形成されたケーキ状溶融炉心の様相を図3.1-31に示す。水深が浅いため、細粒化しても固化する前にキャッチャーに堆積することで、粒子化したものが結合した塊状になっている。水深が深いほど粒子の固化が進むため、図3.1-32に示すとおりケーキ状溶融炉心が少なくなる。ここで、塊状溶融炉心の概念図を図3.1-33に示す。デブリジェットがすべて粒子化及び固化された状態で溶融炉心キャッチャーまで到達した場合が(a)の状態であり、このとき固化した粒子間に空隙があるため、冷却性は阻害されない。(b)の状態は凝集を示しており、固化していないデブリ粒子が堆積することで凝集状態になる。また、(c)の状態はデブリジェットの一部分が直接床に堆積する場合であり、空隙の無い状態で溶融物が堆積した状態である。(b)及び(c)は冷却水が堆積した溶融炉心の内部まで浸透しないため、冷却性が阻害される可能性がある。また、堆積形状として、山状に模擬溶融物が堆積した結果が得られている。試験結果からは、水深が深いほど、凝集物の発生割合は小さく、約1.5mの水深があればほぼすべての模擬溶融物は固化した状態で堆積することが分かる（ケースA9のみ、数%の凝集物が発生している）。水深が1.5mよりも浅い場合に、ケースA7、A9において他のケースよりも高い凝集割合が観測されているのは、ケースA7、A9では模擬溶融物の過熱度が高いためである。結論としては、水深が数mあれば、デブリ粒子をすべて固化できるとしている。</p> <p>また、解析研究により図3.1-34に示すようなケーキ状溶融炉心の生成される条件マップが作成されており、そのモデルを実機スケールのジェット径に展開した場合の、堆積モードマップ（ジェット径対水深の図上での、凝集、固化の領域図）が示されている。実機での破損口径に相当する約200mmのジェット径では、水深が約9mの位置に凝集と固化の分岐点が存在することが分かる。</p> <p>実機条件では、原子炉下部キャビティ水深は1～2m、破損口径は数10cmであり、堆積モードマップに当てはめると、ほぼすべての溶融炉心がケーキ状に堆積する。ケーキ状に堆積した場合、MAAPコードでモデル化している平板状の発熱体とは、水の浸透、表面形状等の点で性質が異なるが、これらの性質の相違は、平板状の発熱体における水-溶融炉心間の熱伝達係数として取り扱うことができる。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>		
<p>③ 長期二次元コンクリート侵食実験（CCI実験）</p> <p>デブリによる長期的な床部及び側壁の侵食挙動を明らかにすることを目的に実施された。実験装置のテスト部の構造を付図2-13に示し、実験条件一覧を付表2-3に示す。テルミット反応により生成したUO₂、ZrO₂及びコンクリート成分を主成分とするデブリ模擬溶融物を直接通電により加熱している。電極がある2面は非侵食性の側壁を採用し、残りの2面をコンクリートにより製作している。使用するコンクリートは実験により種類が変えられている。注水なしの条件で、側壁のコンクリートの最大侵食深さが30cmに達するまで侵食を継続した後注水を行い、注水後、最大侵食深さが35cmに到達した時点で実験を終了している。実験装置に荷重負荷装置を設置し、注水後に形成されるクラストに荷重を与えて、クラストの機械的強度に関するデータを得ている（付図2-14参照）。コンクリート種類を変えて3回実験が行われている。CCI実験のコンクリート組成を付表2-4に示す。CCI実験のデブリ-水間の熱流束を付図2-15に示し、溶融物の平均温度を付図2-16に示す。また、実験後の侵食状態の模式図を付図2-17に示す。石灰岩系コンクリートの場合、床方向と側壁方向の侵食は同程度となっているのに対し、玄武岩系コンクリートの場合、側壁方向の侵食が床方向より大きくなっており、侵食に異方性があることが示されている。付表2-5に示すように、侵食率から側壁方向と床方向の熱流束が推定されている。CCI-2実験（石灰岩系コンクリート）の場合、側壁方向と床方向は同程度と推定されているのに対し、CCI-3実験（玄武岩系コンクリート）の場合、側壁方向の熱流束は、床方向より4倍程度大きいと推定されている。</p>	<p>(11) CCI実験^{11,12,13}</p> <p>CCI (Core Concrete Interaction) 実験は、OECD MCCI プロジェクトの一環として米国アルゴンヌ国立研究所 (ANL) にて行われており、コンクリート侵食が進んだ状態で注水した場合の溶融物の挙動の調査を目的としたものである。CCI 実験では、MCCI 進展後後期の注水による溶融炉心冷却性として、現象論的に4つのメカニズムに着目しており、それぞれバルク冷却、クラストのひび及び割れ目からの水浸入、溶融物の噴出、クラストの破損である。</p> <p>¹¹ M. T. Farmer, et al., " OECD MCCI Project Final Report," 2006</p> <p>¹² M. T. Farmer, et al., " OECD MCCI Project 2-D Core Concrete Interaction (CCI) Tests: Final Report," 2006</p> <p>¹³ Q. Zhou, et al., " Benchmark of MCCI Model in MAAP5.02 against OECD CCI Experiment Series," 2014</p> <p>CCI 実験装置を図3.1-35に示す。実験装置中に、断面50cm × 50cm、高さ55cmのつぼがあり、その底部にコンクリートベースマットが敷かれている。ベースマットの上部には、溶融物を直接電気加熱により加熱するタングステン電極があり、溶融物は120kW～150kWで加熱される。また、溶融物の温度を測定するための熱電対がコンクリート中に多数設置されている。その他、溶融物に注水するための給水系、MCCIにより発生したガスの換気系等がある。さらに、実験装置に荷重負荷装置を設置し、注水後に形成されるクラストに荷重を与えて、クラストの機械的強度に関するデータを得ている（図3.1-36参照）。</p> <p>次に、実験条件を表3.1-9に示す。実験はCCI1～3の3回行われている。各実験について、溶融物の加熱後5.5時間が経過した時点、あるいはコンクリート侵食が30cm進んだ時点で注水を開始する。実験ケース間の主要な条件の違いとしては、コンクリート組成（CCI-2が石灰岩系、CCI-1, 3が珪岩質系）、直接電気加熱による加熱量（CCI-1が150kW、CCI-2, 3が120kW）である。CCI 実験のコンクリート組成を表3.1-10に示す。</p> <p>図3.1-37にCCI-1, 2, 3実験での水への熱流束、図3.1-38に溶融物の平均温度を示す。最初の5分間は限界熱流束に近い値となっており、CCI-1, 3で約1MW/m²、CCI-2では3MW/m²近い値になっている。この違いとして、CCI-1, 3では注水時点でクラストが形成されており、CCI-2では注水時点でクラストが形成されておらず、溶融物と水が直接接触（バルク冷却）したためと推測されている。CCI-2も、バルク冷却期間（約5分）の後に安定クラストが形成されている。</p> <p>注水後15-25分はクラストが熱流束を律速する期間であり、平均化した熱流束を表3.1-11に示す。コンクリート分解時にガス発生量が多い石灰岩系コンクリートの場合（CCI-2）には0.65MW/m²、ガス発生量の少ない玄武岩系コンクリートの場合（CCI-1, 3）には0.25MW/m²及び0.5MW/m²となっている。この違いから、クラスト形成段階でコンクリート分解ガスが多いほど、クラストのひび、割れ目及び空隙が大きくなると考察されている。これらの熱流束をクラスト熱伝導だけで伝えるには、クラスト厚さは約3mm～7mmでなければならないが、測定結果ではクラ</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p> <p>また、CCI実験について、MAAPコードによりベンチマーク解析が行われている^[26]。</p> <p>CCI-2実験（石灰岩系コンクリート）のベンチマーク解析では、固化効果項の影響を除いて対流熱伝達係数のサーベイが可能ないように、対流熱伝達係数として床方向と側壁方向ともに300W/m²-K、固化効果項の指数nに0が設定されている。ここで300W/m²-Kは、実際のMCCI時の対流熱伝達係数は、固化割合を考慮すると、完全液相状態の値よりも1桁程度小さい値（付図2-19において固化割合が60%程度の値）になることを考慮して設定されている。また、CCI-2実験では、床方向と側壁方向の熱流束が同程度と推定されていることから、対流熱伝達係数も同じ値が設定されている。この設定を用いた解析により、コリウム温度の変化（付図2-20参照）は、実験データと良く合っている。また、床方向の侵食量は（付図2-21参照）、実験では注水前には25cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では33cm程度の侵食量となっている。側壁方向の侵食量は（付図2-22参照）、実験では注水前には29cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では33cm程度の侵食量となっている。</p> <p>CCI-3実験（玄武岩系コンクリート）のベンチマーク解析では、対流熱伝達係数として床方向に80W/m²-K、側壁方向に300W/m²-K、nに0が設定されている。ここで、80W/m²-Kは、CCI-3実験では、床方向の熱流束が側壁方向の1/4程度と推定されていることから、床方向の対流熱伝達係数を側壁方向の1/4程度として設定されている。この設定により、コリウム温度の変化（付図2-23参照）は、より実験データに近くなっている。また、床方向の侵食量は（付図2-24参照）、実験では注水前には5cm程</p>	<p>スト厚さは5cm～10cmとなっており一桁厚い。よって、クラストからの水浸入が冷却を支配していること、水浸入パスとなるクラストの空隙はコンクリートからのガス発生が多いほど大きくなることが考察されている。</p> <p>溶融物の噴出については、CCI-2ではみられたが、CCI-1,3ではみられなかった。溶融物の噴出は、コンクリート分解ガスが放出されるときに巻き込まれると考えられており、ガス放出の少ない玄武岩系コンクリートの場合には起きなかったと推測されている。また、CCI-1では注水から10分で入熱が終了したことから、CCI-3では部分的にクラストが壁に固着したことも影響していると考えられている。</p> <p>クラストの破損については、クラスト強度を計測した結果から、クラストは非常に弱いことが判明している。そして、CCI-1実験からクラスト破損時には3MW/m²を超える熱流束が発生している。</p> <p>以上より、CCI実験結果で得られた0.25MW/m²という熱流束は、溶融物上にクラストが形成された状態にあり、かつ、クラストの空隙が小さい場合の値である。</p> <p>最後に、実験後の侵食状態の模式図を図3.1-39に示す。石灰岩系コンクリートの場合、床方向と側壁方向の侵食は同程度となっているのに対し、玄武岩系コンクリートの場合、側壁方向の侵食が床方向より大きくなっており、侵食に異方性があることが示されている。CCI-2実験（石灰岩系コンクリート）の場合、側壁方向と床方向は同程度と推定されているのに対し、CCI-3実験（玄武岩系コンクリート）の場合、側壁方向の熱流束は、床方向より4倍程度大きいと推定されている。CCI-2,3実験に対しては、MAAPコードによりベンチマーク解析が行われている¹³。</p> <p>CCI-2実験（石灰岩系コンクリート）のベンチマーク解析では、固化効果項の影響を除いて対流熱伝達係数のサーベイが可能ないように、対流熱伝達係数として床面方向と壁面方向ともに300W/m²/K、固化効果項の指数nに0が設定されている。ここで300W/m²/Kは、実際のMCCI時の対流熱伝達係数は、固化割合を考慮すると、完全液相状態の値よりも1桁程度小さい値（図3.1-40において固化割合が60%程度の値）になることを考慮して設定されている。また、CCI-2実験では、床面方向と壁面方向の熱流束が同程度と推定されていることから、対流熱伝達係数も同じ値が設定されている。この設定を用いた解析により、コリウム温度の変化（図3.1-41参照）は、実験データと良く合っている。また、床面方向の侵食量は（図3.1-42参照）、実験では注水前には25cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では33cm程度の侵食量となっている。壁面方向の侵食量は（図3.1-43参照）、実験では注水前には29cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では33cm程度の侵食量となっている。</p> <p>CCI-3実験（玄武岩系コンクリート）のベンチマーク解析では、対流熱伝達係数として床面方向に80W/m²/K、壁面方向に300W/m²/K、nに0が設定されている。ここで、80W/m²/Kは、CCI-3実験では、床面方向の熱流束が壁面方向の1/4程度と推定されていることから、床面方向の対流熱伝達係数を壁面方向の1/4程度として設定されている。この設定により、コリウム温度の変化（図3.1-44参照）は、より実験データに近くなっている。また、床面方向の侵食量は（図3.1-</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>度侵食されているのに対し、MAAP解析では5.7cm程度の侵食量となっている。側壁方向の侵食量は（付図2-25参照）、実験では注水前には29cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では27cm程度の侵食量となっている。</p> <p>CCI実験を対象にしたMAAPベンチマーク解析により、対流熱伝達係数を適切に設定することにより侵食量がおおむね合うことが確認されている。また、侵食の異方性を扱うためには、床方向と側壁方向の対流熱伝達係数の比率の設定が重要であることが示されている。</p>	<p>45参照）、実験では注水前には5cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では5.7cm程度の侵食量となっている。壁面方向の侵食量は（図3.1-46）、実験では注水前には29cm程度侵食されているのに対し、MAAP解析では27cm程度の侵食量となっている。</p> <p>CCI実験を対象にしたMAAPベンチマーク解析により、対流熱伝達係数を適切に設定することにより侵食量がおおむね合うことが確認されている。また、壁面方向よりも床面方向では侵食量が低減する侵食の異方性を扱うためには、床面方向と壁面方向の対流熱伝達係数の比率の設定が重要であることが示されている。しかしながら、この侵食の異方性はドライ条件の実験において発生しており、そのメカニズムの詳細は未だ解明されておらず、実機のウェット条件にて、この侵食の異方性が発生するかは不明である。このため、実機解析ではCCI実験で観測された異方性による侵食の低減効果を考慮していない。なお、ウェット条件である実機では、侵食が小さいため、異方性を保守的に考慮（CCI実験での低減効果とは逆に侵食が進むとの極端な想定）したとしても影響が軽微であることを確認している（添付資料7.2.5.3 コンクリート侵食の侵食異方性について）。</p>	
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>		
<p>① クラスト浸水・強度実験（SSWICS実験）</p> <p>SSWICS実験は、クラスト内への浸水メカニズムと浸水による除熱量、さらにクラスト強度を調べるために実施された。実験装置の構造を付図2-11に示し、実験条件一覧を付表2-2に示す。テスト部内の非侵食性の床面上で、テルミット反応によりUO_2、ZrO_2及びコンクリート成分を主成分とするデブリ模擬溶融物を生成しその上に注水する。崩壊熱とコンクリート分解気体の発生は模擬しない過渡クエンチ実験である。最大除熱量はクラスト上面におけるドライアウト熱流束により評価される。実験結果より、安定なクラストは形成されず、クラスト内に冷却材が浸入することにより、熱伝導率以上の熱流束を期待することができるとしている。さらに、SSWICS実験で得られたドライアウト熱流束を実機の事故シーケンス解析において直接的に適用できるよう、Lister/Epsteinのドライアウト熱流束モデルへの適応が行われた。実験結果とこれに基づいたLister/Epsteinモデルによる予測の比較を付図2-12に示す。この実験結果及びこれらに基づいた予測値によれば、コンクリートを全く含有しないデブリに対する上面水プールへのドライアウト熱流束は、約$400kW/m^2$であり、コンクリート含有とともに熱流束は低下し、含有率15%程度以上では約$100kW/m^2$となっている。</p>	<p>(12) SSWICS試験¹¹</p> <p>SSWICS (Small Scale Water Ingression and Crust Strength experiments) 試験は、OECD MCCIプロジェクトの一環として米国アルゴンヌ国立研究所 (ANL) にて行われた試験であり、溶融物に上部より注水した場合の冷却性を調査している。試験装置を図3.1-47に示す。</p> <p>SSWICS試験では、クラストが冷却される過程で内部への浸水性があり除熱量の増加に寄与するものの、溶融物のコンクリート含有率が増加するとドライアウト熱流束が低下すると報告されている。溶融物とコンクリートの混合物のドライアウト熱流束の測定結果と、Lister-Epsteinドライアウト熱流束モデルの比較結果を図3.1-48に示す。試験結果と解析モデルの傾向はよく一致しており、コンクリート含有率が増加するにつれてドライアウト熱流束は減少し、約$125kW/m^2$となり、それ以降は概ね一定となる。</p>	
<p>④ クラスト破損実験</p> <p>本実験は上記①③の実験に付随して実施されており、①のSSWICS実験で形成されたクラストの冷却後破損強度を調べる実験と、③の二次元侵食実験の間に高温状態で破損させる実験の2種の実験が行われている。</p> <p>前者の実験では、クラスト浸水実験で形成された直径約30cmのクラストに荷重を加えて、クラストの強度を測定している。低温クラスト破損実験装置の概要を付図2-18に示す。クラスト上面の中央部に集中荷重を与え、クラスト破損時の荷重からクラストの機械的強度（破損時にクラストに発生する最大の応力）を評価している。クラスト上に堆積する冷却水層及び噴出デブリの荷重に</p>	<p>また、SSWICS試験ではクラストの強度試験も行っている。試験装置図を図3.1-49に示す。結果を図3.1-50に示すが、上部水プールにより冷却されたクラストの強度は、溶融物の理論密度と比較して約二桁弱いことが示されている。これは、クエンチの過程で形成されたクラストの亀裂のため、組成から考えられる強度より大幅に小さくなったものである。さらに、試験データから外挿すると、実機スケールではクラストは安定的には存在できないと推測されている。その結果、クラストの破損が断続的に繰り返され、クラストへの水の浸入及び溶融物の噴出による冷却が溶融物の冷却及びコンクリート侵食の停止に寄与するとされている。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>起因してクラスト内に発生する応力と、本実験から得られるクラストの機械的強度を比較することにより、実機規模においては、クラストは破損し下部の溶融物と接触する可能性が高いことが示されている。</p> <p>後者の二次元侵食実験では、注水前の高温状態で突き棒（lance）によりクラストが破損する荷重を測定し、注水後も再度突き棒によりクラストが破損する荷重を測定している。これにより、現実に近い状態でのクエンチ前後のクラスト強度が確認され、クエンチ後は、クラスト強度が大きく低下することが確認された。</p>	<p>(13) クラスト強度のJNES解析研究¹⁴</p> <p>OECD-MCCIプロジェクトで実施されたクラスト強度試験(SSWICS試験)結果に基づき、クラストのヤング率と破損応力を解析的に求めており、図3.1-51,52に示す結果が得られている。</p> <p>¹⁴ Hideo Nagasaka, et al., " Failure Strength and Young' s Modulus Evaluation of Solidified Crust based on OECD-MCCI Test," MCCI Seminar 2010, Cadarache, 2010.</p> <p>その値を実機サイズのクラストに適用し、実機スケールでのクラストの荷重を算出し、健全性を評価している。解析モデルは図3.1-53に示すものである。軸対象につき片持ち梁体系にて、クラストの直径と厚さはパラメータサーベイしている。熱応力解析では、クラスト内では崩壊熱1W/cm²、クラスト温度は一樣で、上面と下面で2000Kの温度差を仮定する。</p> <p>その結果、クラスト直径2m～6m、クラスト厚さ20cm～30cm、コンクリート含有割合23.6%及び41.9%の広い範囲において、クラストは自重と熱応力により、水圧が無くても破損するという結果が得られている。また、以下のように条件に応じた知見が整理されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①クラストが壁に接着し、下面に空間ができた場合 クラストは自重と熱応力で破損する。 ②溶融物にクラストが浮いている場合 クラストは熱応力だけで破損する。 ③クラストが壁に接着し、かつ溶融物上に一部浸っている場合 クラストは浮力と自重が釣り合うことになり、図3.1-54に示すようにクラストのアスペクト比に応じた水頭圧により破損する。 <p>(14) PULiMS試験¹⁵</p> <p>スウェーデン王立工科大学(KTH)では、水中での溶融物拡がり挙動を調べるPULiMS試験を実施している。この実験は、浅い水プールへ溶融したBi₂O₃-WO₃合金を流入させており、その拡がり挙動を調べている。図3.1-55に示すように、水中へ流入した溶融物は、瞬時に固化することなく、床上を拡がる様子が観察されている。</p> <p>¹⁵ A. Konovalenko, et al., " Experimental Results on Pouring and Underwater Liquid Melt Spreading and Energetic Melt-coolant Interaction," NUTHOS-9, Kaohsiung, Taiwan, 2012.</p>	
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>		
<p>また、水中での溶融物拡がり挙動を調べるPULiMS実験^[21]が実施されている。この実験では、浅い水プール（水深20cm）へ溶融したBi₂O₃-WO₃合金を流入させ、その拡がり挙動が観察された。実験装置を付図4-7に示し、実験条件を付表4-4に示す。水中へ流入した溶融物の拡がりの様子を付図4-8に示す。また、固化したデブリ層の性状を付図4-9に示す。固化したデブリ層は3層を形成し、デブリ層下面とコンクリートは密着せずギャップが存在しており、水又は蒸気が存在していた可能性がある。3層の最下層は薄い1.5-2mmのケーキ（クラスト）層で空隙はなく、中間層は割れ目や細長い孔が含まれている。最上部は不規則な構造で高多孔性である。</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>		
<p>(3) BETA 実験（独 KfK）^[6]^[34]</p> <p>MCC I 解析コードの侵食挙動やエアロゾル生成挙動の検証用のデータベースを拡充することを目的として、独 KfK で実施された。実験装置の概要を付図 1-6 に示す。テルミット反応により金属溶融物（Fe, Cr, Ni, Zr）と酸化物溶融物（Al₂O₃, SiO₂, CaO）を生成させて、玄武岩系コンクリート製のるつぼに落下させて、るつぼ内の溶融物は、誘導加熱により加熱している。ペースマット中にある熱電対により二次元のコンクリート侵食挙動が確認できるようになっている。溶融物として Zr を多く含む溶融物を用いた実験シリーズの実験マトリックス（V5.1～V5.3）を付表 1-2 に示す。</p> <p>実験後のコンクリート侵食状況を示す模式図を、付図 1-7 に示す。壁方向よりは、床方向の侵食量が大きくなっている。溶融物に含まれる Zr によりコンクリート成分の SiO₂ が還元され、Si や SiO の生成が確認されている。V5.1 実験と V5.2 実験のコンクリートの侵食深さの MAAP 解析との比較^[34] を付図 1-8 及び付図 1-9 に示すが、MAAP 解析結果とよい一致を示している。この MAAP のベンチマーク解析により、二次元侵食に関わるパラメータ設定の妥当性が判断されている。</p>	<p>(1.5) BETA 試験^{16,17}</p> <p>BETA 試験は、MCC I 解析コードの侵食挙動やエアロゾル生成挙動の検証用のデータベースを拡充することを目的として、独 KfK で実施された。実験装置の概要を図 3.1-56 に示す。テルミット反応により金属溶融物（Fe, Cr, Ni, Zr）と酸化物溶融物（Al₂O₃, SiO₂, CaO）を生成させて、玄武岩系コンクリート製のるつぼに落下させて、るつぼ内の溶融物は、誘導加熱により加熱している。ペースマット中にある熱電対により二次元のコンクリート侵食挙動が確認できるようになっている。溶融物として Zr を多く含む溶融物を用いた実験シリーズの実験マトリックス（V5.1～V5.3）を表 3.1-12 に示す。</p> <p>実験後のコンクリート侵食状況を示す模式図を、図 3.1-57 に示す。壁方向よりは、床方向の侵食量が大きくなっている。溶融物に含まれる Zr によりコンクリート成分の SiO₂ が還元され、Si や SiO の生成が確認されている。V5.1 実験と V5.2 実験のコンクリートの侵食深さの MAAP 解析との比較を図 3.1-58 及び図 3.1-59 に示すが、MAAP 解析結果とよい一致を示している。この MAAP のベンチマーク解析により、二次元侵食に関わるパラメータ設定の妥当性が判断されている。</p>	
	<p>¹⁶ H. Alsmeyer, et al., "BETA experiments on Zirconium Oxidation and Aerosol Release during Melt-Concrete interaction," Proceedings of the Second OECD (NEA) CSNI Specialist Meeting on Molten Core Debris-Concrete Interactions, NEA/CSNI/R(92)10, Karlsruhe, Germany (1992).</p> <p>¹⁷ Electric Power Research Institute, MAAP4 User's Manual Volume 1-3 (1994).</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="517 169 678 193">【参考のため再掲】</p> <p data-bbox="185 204 969 228">各実験の詳細は付録資料にて示す。以下に、実機評価に関連する知見の概要をまとめる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="174 308 1039 432">・ドライ条件でのコンクリート侵食（付録1参照） 熔融炉心に注水が行われない場合の侵食速度は、ACE 実験、SURC 実験及びBETA 実験で確認されている。また、MAAPコードによる実験解析が行われており、解析で得られた侵食速度は実験結果と良く一致している（1時間あたり20cm程度）^{[23][34]}。 <li data-bbox="174 477 1039 1082">・ウェット条件（Top Flooding）でのコンクリート侵食（付録2参照） SWISS 実験、WETCOR 実験、MACE 実験では、熔融デブリ上面へ注水をした場合（TopFlooding）のコンクリート侵食実験が行われたが、結果として、デブリ上面に安定なハードクラストが形成されてデブリ内への水の浸入を妨げ、コンクリート侵食が継続する結果が得られた。コンクリート侵食が停止しなかった主な原因は、デブリ模擬物上面に形成されたクラストが側壁（側壁に耐火物を採用した一次元侵食実験）あるいは電極と側壁の両者に固着し、クラストとその下のデブリ模擬物とが分離したことにより、デブリ模擬物の効果的な除熱がなされなかったためであるとされている。 COTELS 実験では、熔融物の落下過程を含めて模擬したMCCI 実験が実施され、結果として、側壁侵食部に水が浸入し、コンクリート侵食が停止する結果が得られた。 実機スケールで安定クラストが形成されるか否かを解明するため、OECD/MCCI プロジェクトが行われ、クラスト強度、クラスト浸水、二次元コンクリート侵食挙動等を分離効果的に調べる実験が実施された。その結果、実機スケールでは、安定クラストは形成されず、ハードクラストは割れて水が内部に浸入して冷却が促進されることや、MCCI により発生したガスにより熔融物がクラストの割れ目から噴出する火山型のクラストが形成されるとの結果が得られている。また、CCI 実験結果から玄武岩系コンクリートに侵食の異方性が見られる結果が得られている。 これらの知見は、MCCI 評価のためにはデブリから水プールやコンクリートへの熱伝達の扱いが重要であることを示唆している。 <li data-bbox="174 1126 1039 1355">・水張りによる熔融物の粒子化（付録3参照） 熔融物ジェットが水中へ落下する場合の粒子化挙動については、FCI 実験等により確認されている。粒子化割合は、主に水深やジェット径に依存し、粒径（質量中央径）は、比較的大きく、実験条件（初期圧力、水深、コリウム落下速度、サブクール度）に対する依存性は低いと報告されている。各UO₂ 混合物実験の平均的な粒子径は、熔融物量の多いFARO 実験では2.6～4.8mm^[14]、COTELS 実験では6mm程度^[16]である。また、粒子化割合を評価する解析モデルが提案されている（Ricou-Spalding 相関式^[25]やSaito の相関式^[26]等）。 <li data-bbox="174 1399 465 1423">・熔融物の拡がり（付録4参照） 	<p data-bbox="1061 169 1305 193">3.2 MCCI 実験の知見の整理</p> <p data-bbox="1117 204 1832 228">本項では、前項に示した国内外のMCCI 実験で得られた知見に関する整理を行う。</p> <p data-bbox="1117 239 1626 263">PWRプラントでのMCCI 現象については、次の3つの段階、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1137 274 1594 298">① 熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程 <li data-bbox="1137 309 1357 333">② 熔融炉心の冷却過程 <li data-bbox="1137 344 1397 368">③ コンクリートの侵食過程 <p data-bbox="1081 379 1722 403">で現象が進展していくことから、それぞれの段階ごとに知見を整理する。</p> <p data-bbox="1081 448 1516 472">○熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程</p> <p data-bbox="1081 483 1960 571">MCCI 実験としては、水プールに熔融物を落下させた条件での実験はDEFOR 実験のみでありサンプルが少ないため、FCI に関する実験的知見も加味して、熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程に関してまとめる。</p> <p data-bbox="1099 616 1960 742">○熔融炉心が冠水した原子炉下部キャビティに落下するとき、次の3通りの状態、即ち、熔融炉心がすべて細粒化及び固化されて床面に達する場合、液滴状の粒子が堆積して凝集物を形成する場合、熔融炉心がジェット状のまま床面に到達し、空隙なく熔融炉心が堆積する場合が考えられる。</p> <p data-bbox="1099 786 1960 1185">○これらの現象について、DEFOR-A 実験では、水深が1.5mの場合、1ケースを除いて細粒化及び固化する結果が得られている（残りの1ケースも液滴のまま凝集する割合は数%）。また、FCI 実験（FARO 及びCOTELS）においては、FARO 実験では水深1～2mの場合に熔融物のほとんどが細粒化、COTELS 実験では水深0.4mの場合に熔融物の90%以上が細粒化したという、DEFOR 実験と類似した結果が得られている。したがって、実験条件では、熔融炉心の水プール内の堆積過程においては、原子炉下部キャビティの水深が1～2m 確保されていれば、大部分が細粒化及び固化した熔融炉心として堆積すると考えられる。一方、実機条件では、原子炉容器破損モードは計装用案内管溶接部破損が支配的であり、その後、熔融炉心が破損口を侵食し、デブリジェット径は数十cmに達する（例として3ループプラントの例を図3.2-1に示す）ため、水深が数m 確保されていても細粒化する熔融炉心はわずかであり、相当量の熔融炉心が連続層として原子炉下部キャビティ床に堆積する。したがって、実機解析においては、エントレイン量、水深、デブリジェット径に関する不確かさを考慮して、評価する必要がある。</p> <p data-bbox="1099 1230 1960 1390">○一方、原子炉下部キャビティ床面での熔融炉心の拡がりに関しては、凝集した熔融炉心あるいは塊状の熔融炉心が水中で拡がる状況に関する知見は得られていないものの、上記のように熔融炉心の大部分が細粒化及び固化する場合、セルフレベリング実験の結果が適用でき、細粒化した熔融炉心が不均一に堆積する場合でも、崩壊熱により粒子ベッド内に沸騰が生じ、粒子が吹き上げられ再堆積する過程で粒子ベッドの厚さが均一化される。</p>	<p data-bbox="1973 169 2116 228">※知見の整理の仕方が異なる</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>Mark-I型格納容器のシェルアタックに関する研究^{[17][18][19][20]}により、事前水張りが、溶融物の拡がりを抑制し、シェルアタック防止に有効であることが確認されるとともに、溶融物の拡がりを評価する解析コードが作成されている。溶融物の拡がりには、デブリ落下流量、デブリ成分、デブリ過熱度が主に影響することが示されている。KTHでは、水中での溶融物の拡がり挙動と固化性状を調べるPULiMS実験^[21]が実施され、溶融物の拡がる過程は、流体力学と固化の二つの競合プロセスに支配されるとして、流体力学には重力、慣性力、粘性力及び表面張力が影響し、固化には溶融物から周囲への熱伝達、崩壊熱発生及び溶融物の相変化が影響するとして、実験と実機条件とを関連づけるスケーリング則の提案^{[20][27][28]}が行われている。また、独カールスルーエ研究センター（FZK）においてKATS実験^{[29][29][30]}が実施され、溶融物の放出速度が比較的高い場合は、冷却材の有無によらず同様な拡がり挙動になることが示されている。溶融物の拡がり挙動の解析のために、種々の解析コードが提案されており、実験データを元に検証が行われている。三次元の拡がり評価も行われており、比較的広いベDESTALをもつABWR（ベDESTAL半径約5.3m）の溶融物拡がり評価が実施され、床上に水がある場合でも、床全面に溶融物が拡がること示されている^[40]。</p> <p>また、ANLでのセルフレベリング実験^[22]により、水プール中に不均質に堆積させた粒子状ベッドにおいて、内部沸騰によって短時間でベッドの厚さが均一化されることが示されている。</p> <p>・粒子状ベッドの冷却性（付録5参照）</p> <p>粒子状ベッドの冷却性については、ドライアウト熱流束が種々の実験で確認されており、主に粒子径に依存するとの結果が得られている。また、ドライアウト熱流束を評価する解析モデルがいくつか提案されているが、Lipinski0-Dモデル^{[24][31][32][33]}が広く使われている。</p>	<p>○溶融物組成、質量、温度等の点で実機条件とは異なるものの、PULiMS試験より、水中へ流入した溶融物は瞬時に固化することなく、床上を拡がる様子が観察されている。</p> <p>②溶融炉心の冷却過程</p> <p>○SWISS, MACE, WETCORの各実験において、溶融物上に注水した結果、溶融物の上面に強固なクラストが形成され、これが、実験装置の壁面や電極などにより固定されることにより、水による溶融物の冷却効果を阻害し、溶融物が十分に冷却されない状態となった。これに対し、COTELS実験では、上面クラストが壁に固定されることなく、注水後約3～4分で、コンクリート温度が抑制でき、水による冷却効果が高いことが示された。</p> <p>○溶融物から上面の水プールへの熱流束は、各実験で評価されており、その評価値は200～800kW/m²であった。この値は、限界熱流束よりも低い値であり、COTELS実験では、水が更に高い除熱能力を有する可能性があることと結論付けている。また、MACE実験では、注水初期に限られるが、1000kW/m²を超える高い熱流束が観測されている。なお、WETCOR実験、MACE実験より、水への熱流束が約0.2MW/m²となるのは、溶融炉心が完全固化し、温度も低下し概ね約1,500Kとなった時点である。</p> <p>○CCI実験では、注水初期には約1MW/m²の限界熱流束に近い除熱が得られている。また、クラストが無い状態での冷却では3MW/m²の熱流束が観測された。ただし、それらの高い熱流束は初期に限定され、それ以降は250～650kW/m²の熱流束となっている。なお、約250kW/m²の熱流束となるのは、溶融物上にクラストが形成された状態にあり、かつ、クラストの空隙が小さい場合の値である。</p> <p>○DEFOR実験より、堆積過程において粒子の凝集物、あるいは空隙の無い溶融物として堆積した場合、冷却性が悪化する可能性がある。また、堆積形状として山状に堆積した場合は、水との接触面積が減少することにより冷却性能が悪化する可能性がある。</p> <p>○SSWICS試験より、コンクリート侵食が進み、溶融炉心中のコンクリート含有率が増加した場合、ドライアウト熱流束が低下する可能性がある。</p> <p>○JNES解析研究より、実機スケールでは溶融物上面に安定なクラストが形成されることは無いという結論が得られている。</p> <p>③コンクリートの侵食過程</p> <p>○水による冷却を伴わない場合のコンクリート侵食速度は、ACE実験（ケイ土系コンクリート）で17～20cm/h、SURC実験（玄武岩系コンクリート）で26～30cm/hであった。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>○SWISS, MACE, WETCORの各実験において、熔融物の上面に強固なクラストが形成され、これが実験装置の壁面や電極などにより固定されることにより、水による熔融物の冷却効果を阻害したことから、コンクリートの侵食が継続する結果となっている。</p> <p>○これに対しCOTELS実験では、上記実験のような上面クラストの固定は起こらず、注水後約3～4分で、コンクリート温度が抑制された。この要因として、粒子化した熔融炉心への浸水、側面コンクリートと熔融炉心の間への浸水、塊状熔融炉心に生じたクレバスへの浸水などにより冷却が促進されたこと、コンクリート侵食により生じた砂礫が、熔融物とコンクリートの間に溜まり、これが熱抵抗となり、コンクリートへの伝熱を抑制したことによると分析されている。また、早期の注水によりコンクリート侵食深さが小さくなっている。</p> <p>○また、COTELS実験では、コンクリート分解に伴って発生する気体により、熔融炉心が細粒化し、塊状熔融炉心の上に堆積する現象が確認されている。</p> <p>○DEFOR実験より、堆積過程において粒子の凝集物、あるいは空隙の無い熔融物として堆積した場合、水による冷却性が悪化し、よりコンクリートへの伝熱が増加する可能性がある。また、堆積形状として山状に堆積した場合は、コンクリートとの接触面積が減少することにより侵食量が増加する可能性がある。</p> <p><u>○BETA実験、CCI実験より、玄武岩系コンクリートでは、侵食の床面方向と壁面方向に差異が発生することが確認された。BETA実験では壁面方向への侵食はある時間で抑制され、CCI実験では床面方向の侵食が抑制される結果となっている。</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>3.3 実機への適用性</p> <p>小規模実験と実機では、スケールの違いによる安定化クラストの形成に違いがあると考えられているため、実験結果の実機への適用性について考察する。</p> <p>熔融炉心の細粒化の挙動は水深とジェット径に依存するが、スウェーデン王立工科大学 (KTH) で得られた粒子化マップを参考にすると、実機条件では、ジェット径に比べて水深が浅いため、ほとんど細粒化されずに熔融状態で床に到達すると考えられる。</p> <p>また、小規模実験では熔融物上面に堅固なクラストが形成されると考えられている。さらに、クラストががるつばに接着して熔融物の間に空間が形成されるため、熔融物からクラストへの直接的な対流伝熱もしくは熱伝導が低下する現象も観測されている。</p> <p>実機スケールにおけるクラスト強度について JNES にて解析研究が実施されており（3.2 参照）、実機では熔融物上面に上記のような安定なクラストが形成されることは無いという結論が得られている。</p> <p>よって、実機では熔融炉心が熔融状態で拡がり、一方、上面にできるクラストは安定化しないため、熔融物と原子炉下部キャビティ水の直接接触により除熱されると考えられる。以上を踏まえ、実機での熔融炉心の堆積、冷却過程は以下のとおりになると考えられる。また、MCCI 実験での挙動、実機で想定される挙動の概念図を、図 3.3-1 及び図 3.3-2 に示す。</p> <p>【熔融炉心落下時】</p> <p>熔融炉心は完全には粒子化せず、床上を熔融炉心が拡がり、床面との間にケーキが形成される。ジェットの一部は粒子化して熔融炉心上に降下する。クラストが形成されるまでは水-熔融炉心間において比較的高い熱流束が維持される。（MACE 実験、CCI 実験より）</p> <p>【熔融炉心落下後短期】</p> <p>熔融炉心上面からクラストが形成されるが、自重あるいは熱応力によって破碎していく（JNES 解析研究より）ため、熔融物から水へ限界熱流束に近い伝熱となる。この時の現象は、小規模実験で熔融物へ注水を開始した時点と同等と考えられ、MACE 実験、CCI 実験では $1\text{MW}/\text{m}^2$ 以上の値が観測されている。</p> <p>【長期冷却時】</p> <p>時間の経過とともに亀裂の入ったクラストが成長し、熔融炉心全体が固化する。下部のケーキの部分を除いて浸水性があり、その際の限界熱流束は、CCI 実験より約 $0.5\text{MW}/\text{m}^2$ であると考えられる。熔融炉心全体が固化した後の挙動においては、熔融炉心固化物の熱伝導が律速となるが、ひび割れによる伝熱面積の増大と内部への水浸入により除熱が促進される。また、コンクリート</p>	<p>※PWR では得られなかった知見の中でスケールの違いに影響を受けると考える安定化クラストの形成に関する不確かさについて定性的な考察を行い、上面のクラストは安定していない事を確認している。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>と熔融炉心の境界にギャップが発生し、水がギャップへ浸入することで冷却が促進される。 (COTELS 実験より)</p> <p>熔融炉心が固化し安定化クラストが形成され、熔融炉心温度が約 1500K まで下がった場合の熱流束は約 0.2MW/m²と考えられる (WETCOR 試験, MACE 試験より)。</p>	

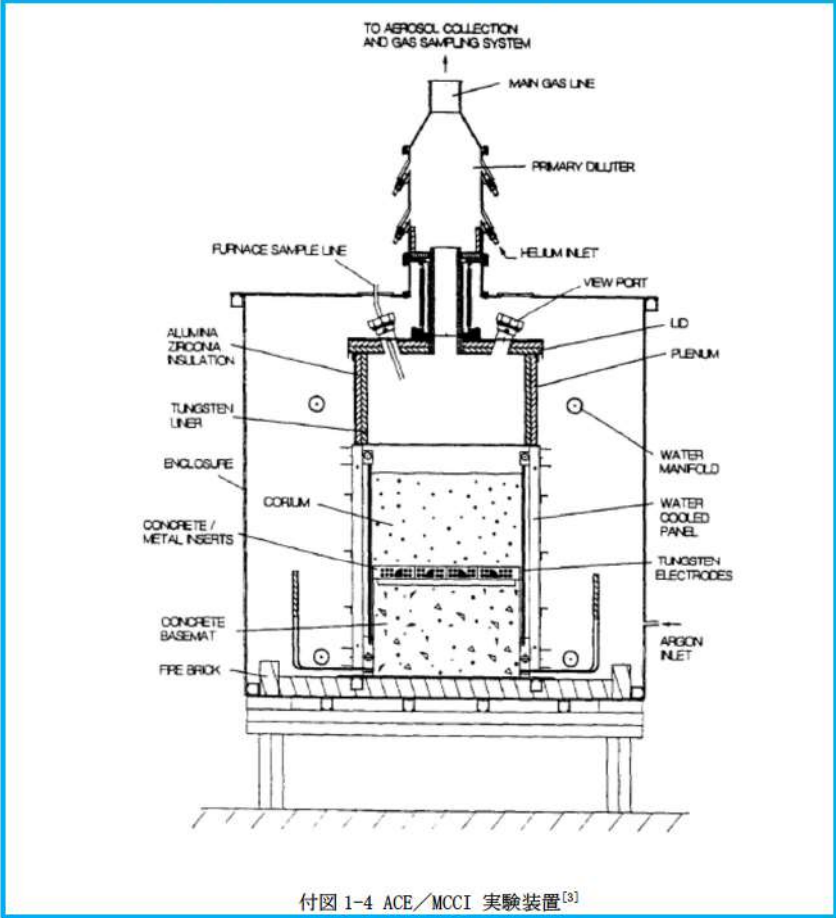
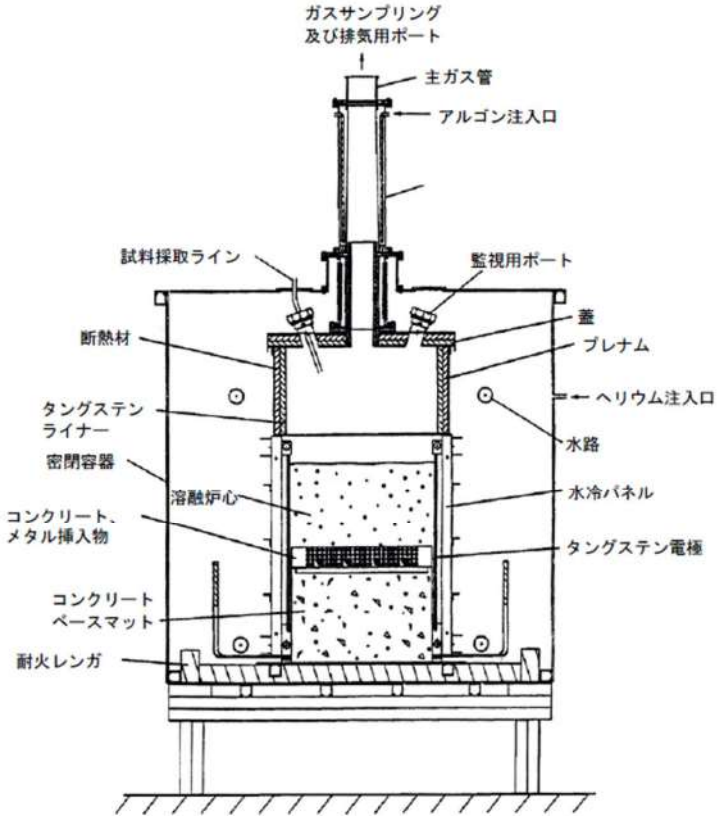
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

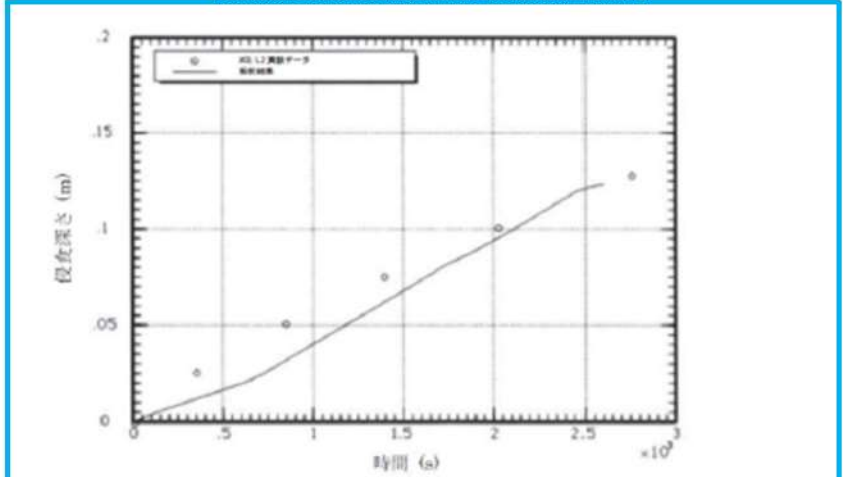
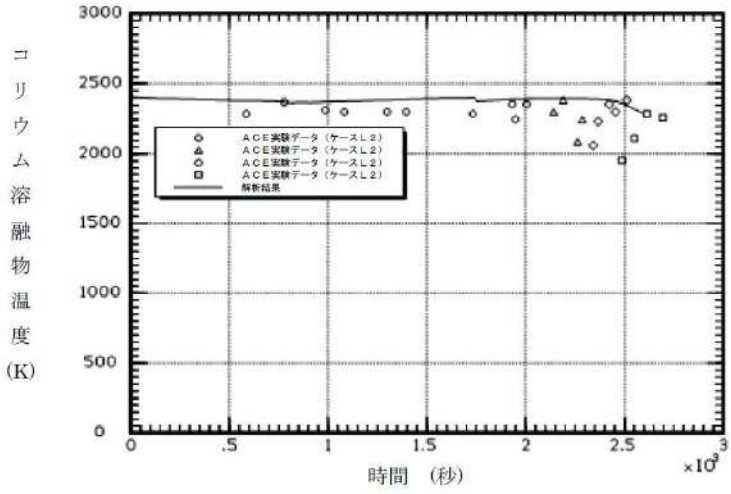
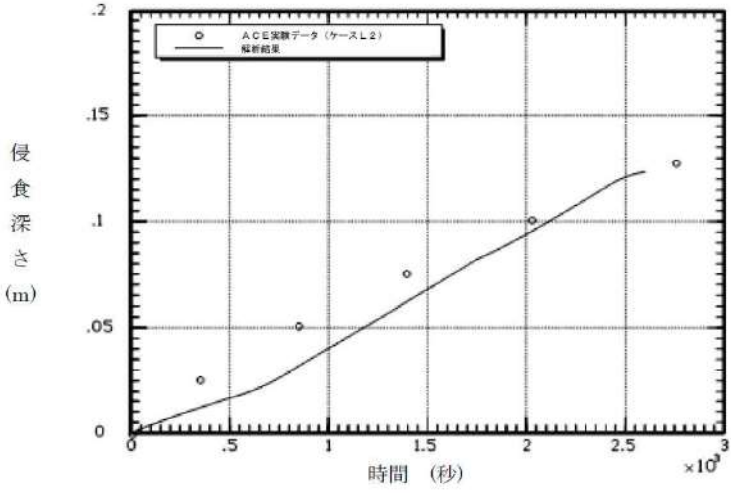
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由																																																																																																																																																																					
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p> <p>付表 1-1 ACE/MCCI 実験マトリックス^[23]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Test</th> <th>Concrete Type^a</th> <th>Decay Heat Generation W/kg of UO₂</th> <th>Corium Mixture</th> <th>Initial Zr Oxidation %</th> <th>Absorber Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L5</td> <td>L/S</td> <td>325</td> <td>PWR</td> <td>100</td> <td>none</td> </tr> <tr> <td>L2</td> <td>S</td> <td>450</td> <td>PWR</td> <td>70</td> <td>none</td> </tr> <tr> <td>L1</td> <td>L/S</td> <td>350</td> <td>PWR</td> <td>70</td> <td>none</td> </tr> <tr> <td>L6</td> <td>S</td> <td>350</td> <td>PWR</td> <td>30</td> <td>Ag, In</td> </tr> <tr> <td>L4</td> <td>Serp/S^b</td> <td>250</td> <td>BWR</td> <td>50</td> <td>B₄C</td> </tr> <tr> <td>L7</td> <td>L/S</td> <td>250</td> <td>BWR</td> <td>70</td> <td>B₄C</td> </tr> <tr> <td>L8</td> <td>L/L</td> <td>350/150^c</td> <td>PWR</td> <td>70</td> <td>Ag, In</td> </tr> </tbody> </table> <p>a. Concrete type: L/S: limestone/common sand S: siliceous L/L: limestone/limestone</p>		Test	Concrete Type ^a	Decay Heat Generation W/kg of UO ₂	Corium Mixture	Initial Zr Oxidation %	Absorber Material	L5	L/S	325	PWR	100	none	L2	S	450	PWR	70	none	L1	L/S	350	PWR	70	none	L6	S	350	PWR	30	Ag, In	L4	Serp/S ^b	250	BWR	50	B ₄ C	L7	L/S	250	BWR	70	B ₄ C	L8	L/L	350/150 ^c	PWR	70	Ag, In	<p>表 3.1-1 ACE 実験：溶融炉心組成及びコンクリート組成</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Constituent (kg)</th> <th>L2</th> <th>L6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>UO₂</td><td>216</td><td>219</td></tr> <tr><td>ZrO₂</td><td>42.5</td><td>18.5</td></tr> <tr><td>Zr</td><td>13.4</td><td>21.1</td></tr> <tr><td>Zirc-4</td><td>-</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>NiO</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>SS-304</td><td>-</td><td>9.1</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>3.0</td><td>7.3</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>SiO₂</td><td>20.9</td><td>16.9</td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0.8</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>La₂O₃</td><td>0.6</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>CeO₂</td><td>1.3</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>MoO₂</td><td>0.9</td><td>0.94</td></tr> <tr><td>SnTe</td><td>0.2</td><td>-</td></tr> <tr><td>ZrTe₂</td><td>-</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>Ru</td><td>-</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>B₄C</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>Ag</td><td>-</td><td>1.19</td></tr> <tr><td>In</td><td>-</td><td>0.22</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Constituent (kg)</th> <th>L2</th> <th>L6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>69</td><td>69</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>13.5</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>1.4</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0.8</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>0.7</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>0.7</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>MnO</td><td>0.03</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>BaO</td><td>0.02</td><td>0.02</td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0.02</td><td>0.02</td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0.01</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>H₂O + CO₂</td><td>7.9</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>Concrete Type</td><td>S¹</td><td>S¹</td></tr> <tr><td>TOTALS</td><td>99.1</td><td>99.08</td></tr> </tbody> </table> <p>※ コンクリートタイプ S¹ : ケイ土系</p>		Constituent (kg)	L2	L6	UO ₂	216	219	ZrO ₂	42.5	18.5	Zr	13.4	21.1	Zirc-4	-	1.8	Fe ₂ O ₃	-	-	NiO	-	-	Cr ₂ O ₃	-	-	SS-304	-	9.1	CaO	3.0	7.3	MgO	-	-	SiO ₂	20.9	16.9	BaO	0.8	0.79	La ₂ O ₃	0.6	0.6	SrO	0.5	0.5	CeO ₂	1.3	1.3	MoO ₂	0.9	0.94	SnTe	0.2	-	ZrTe ₂	-	0.2	Ru	-	0.38	B ₄ C	-	-	Ag	-	1.19	In	-	0.22	Constituent (kg)	L2	L6	SiO ₂	69	69	CaO	13.5	13.5	Al ₂ O ₃	4	4	K ₂ O	1.4	1.4	Fe ₂ O ₃	1.0	1.0	TiO ₂	0.8	0.8	MgO	0.7	0.7	Na ₂ O	0.7	0.7	MnO	0.03	0.03	BaO	0.02	0.02	SrO	0.02	0.02	Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	H ₂ O + CO ₂	7.9	7.9	Concrete Type	S ¹	S ¹	TOTALS	99.1	99.08	
Test	Concrete Type ^a	Decay Heat Generation W/kg of UO ₂	Corium Mixture	Initial Zr Oxidation %	Absorber Material																																																																																																																																																																				
L5	L/S	325	PWR	100	none																																																																																																																																																																				
L2	S	450	PWR	70	none																																																																																																																																																																				
L1	L/S	350	PWR	70	none																																																																																																																																																																				
L6	S	350	PWR	30	Ag, In																																																																																																																																																																				
L4	Serp/S ^b	250	BWR	50	B ₄ C																																																																																																																																																																				
L7	L/S	250	BWR	70	B ₄ C																																																																																																																																																																				
L8	L/L	350/150 ^c	PWR	70	Ag, In																																																																																																																																																																				
Constituent (kg)	L2	L6																																																																																																																																																																							
UO ₂	216	219																																																																																																																																																																							
ZrO ₂	42.5	18.5																																																																																																																																																																							
Zr	13.4	21.1																																																																																																																																																																							
Zirc-4	-	1.8																																																																																																																																																																							
Fe ₂ O ₃	-	-																																																																																																																																																																							
NiO	-	-																																																																																																																																																																							
Cr ₂ O ₃	-	-																																																																																																																																																																							
SS-304	-	9.1																																																																																																																																																																							
CaO	3.0	7.3																																																																																																																																																																							
MgO	-	-																																																																																																																																																																							
SiO ₂	20.9	16.9																																																																																																																																																																							
BaO	0.8	0.79																																																																																																																																																																							
La ₂ O ₃	0.6	0.6																																																																																																																																																																							
SrO	0.5	0.5																																																																																																																																																																							
CeO ₂	1.3	1.3																																																																																																																																																																							
MoO ₂	0.9	0.94																																																																																																																																																																							
SnTe	0.2	-																																																																																																																																																																							
ZrTe ₂	-	0.2																																																																																																																																																																							
Ru	-	0.38																																																																																																																																																																							
B ₄ C	-	-																																																																																																																																																																							
Ag	-	1.19																																																																																																																																																																							
In	-	0.22																																																																																																																																																																							
Constituent (kg)	L2	L6																																																																																																																																																																							
SiO ₂	69	69																																																																																																																																																																							
CaO	13.5	13.5																																																																																																																																																																							
Al ₂ O ₃	4	4																																																																																																																																																																							
K ₂ O	1.4	1.4																																																																																																																																																																							
Fe ₂ O ₃	1.0	1.0																																																																																																																																																																							
TiO ₂	0.8	0.8																																																																																																																																																																							
MgO	0.7	0.7																																																																																																																																																																							
Na ₂ O	0.7	0.7																																																																																																																																																																							
MnO	0.03	0.03																																																																																																																																																																							
BaO	0.02	0.02																																																																																																																																																																							
SrO	0.02	0.02																																																																																																																																																																							
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01																																																																																																																																																																							
H ₂ O + CO ₂	7.9	7.9																																																																																																																																																																							
Concrete Type	S ¹	S ¹																																																																																																																																																																							
TOTALS	99.1	99.08																																																																																																																																																																							

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>  <p>付図 1-4 ACE/MCCI 実験装置^[3]</p>	 <p>図 3.1-1 ACE 実験装置</p>	

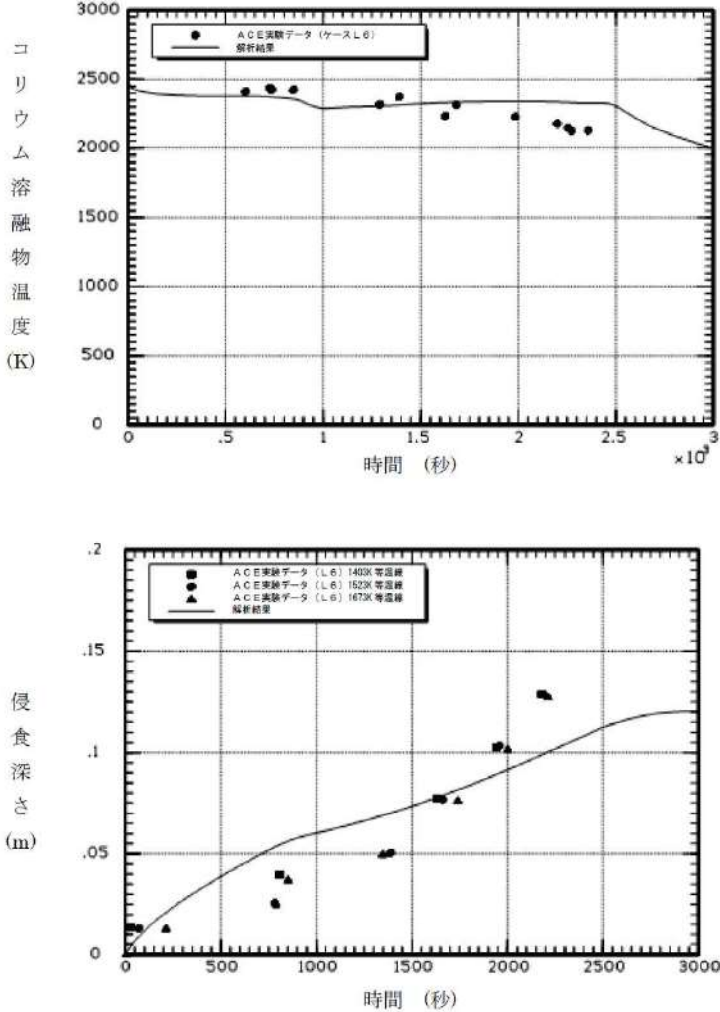
赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>  <p style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p style="text-align: center;">付図 1-5 ACE-L2 実験とMAAP解析の侵食深さの比較^[34]</p>	<p style="text-align: center;">コリウム溶融物温度 (K)</p>  <p style="text-align: center;">時間 (秒) $\times 10^3$</p> <p style="text-align: center;">侵食深さ (m)</p>  <p style="text-align: center;">時間 (秒) $\times 10^3$</p> <p style="text-align: center;">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p style="text-align: center;">図3.1-2 ACE実験 (ケースL2) 溶融炉心：PWR溶融物 (部分酸化) コンクリート：ケイ土系コンクリート</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

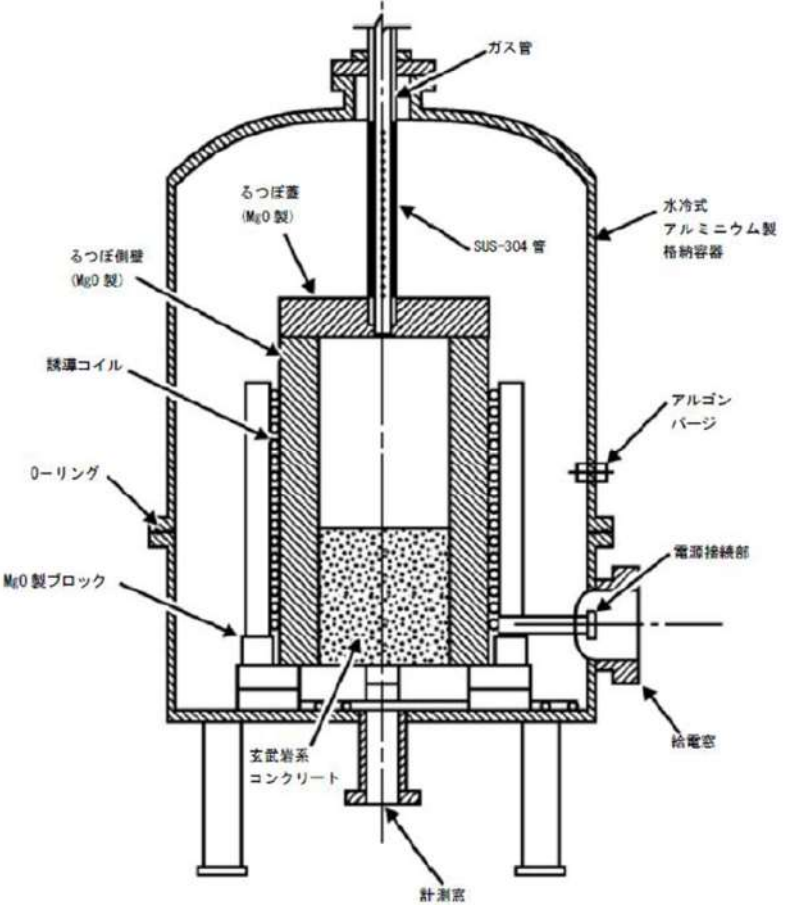
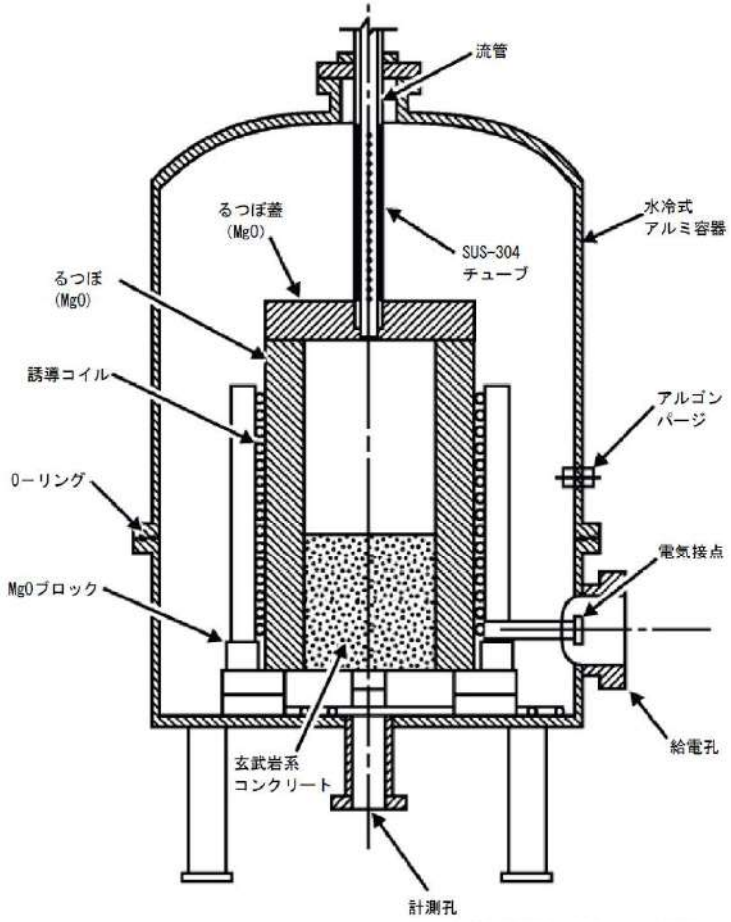
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p>コリウム溶融物温度 (K)</p> <p>時間 (秒) $\times 10^3$</p> <p>ACE実験データ (ケースL6) 設計結果</p> <p>侵入深さ (m)</p> <p>時間 (秒)</p> <p>ACE実験データ (L6) 1400K等温線 ACE実験データ (L6) 1620K等温線 ACE実験データ (L6) 1670K等温線 設計結果</p> <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p>図3.1-3 ACE実験（ケースL6） 溶融炉心：PWR溶融物（部分酸化，制御棒材質を含む） コンクリート：ケイ土系コンクリート</p>	

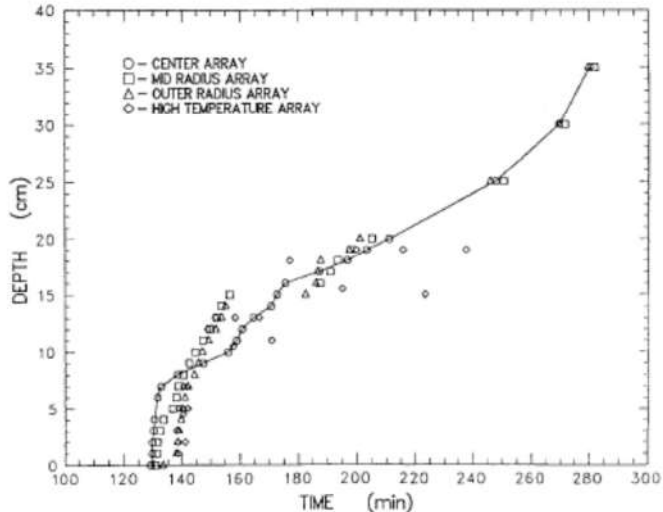
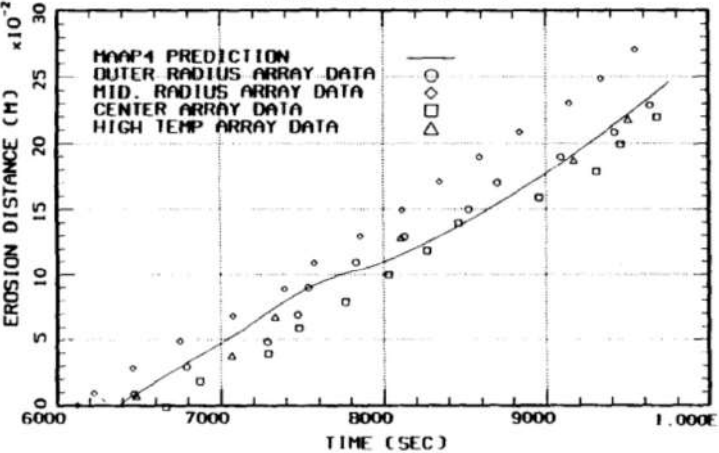
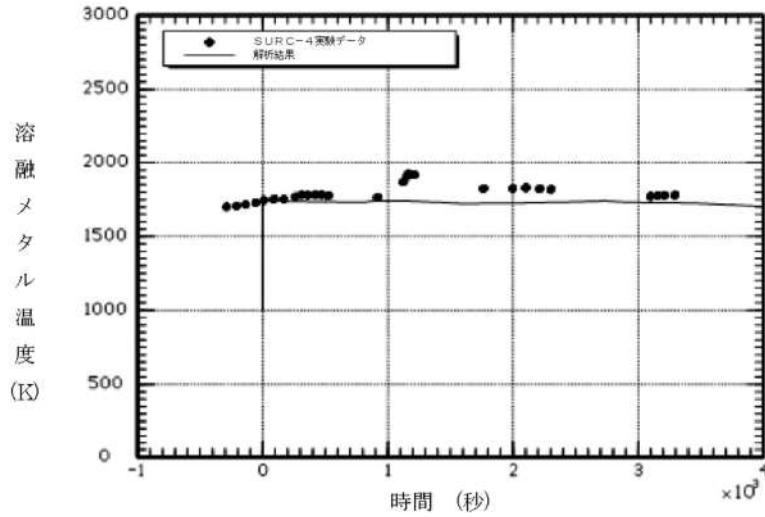
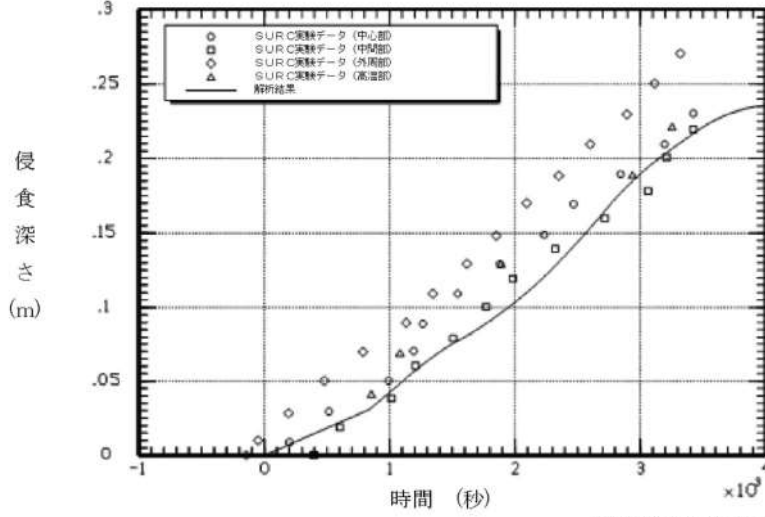
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>  <p>付図 1-1 SURC 実験装置^[29]</p>	 <p>出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p>図 3.1-4 SURC-4 実験：実験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 204 815 228">【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p>  <p data-bbox="436 813 757 837">付図1-2 SURC-2 実験の侵食深さ^[23]</p>  <p data-bbox="324 1396 862 1420">付図1-3 SURC-4 実験の侵食深さとMAAP解析との比較^[23]</p>	  <p data-bbox="1668 1348 1948 1372">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p data-bbox="1422 1396 1624 1420">図3.1-5 SURC-4 実験</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

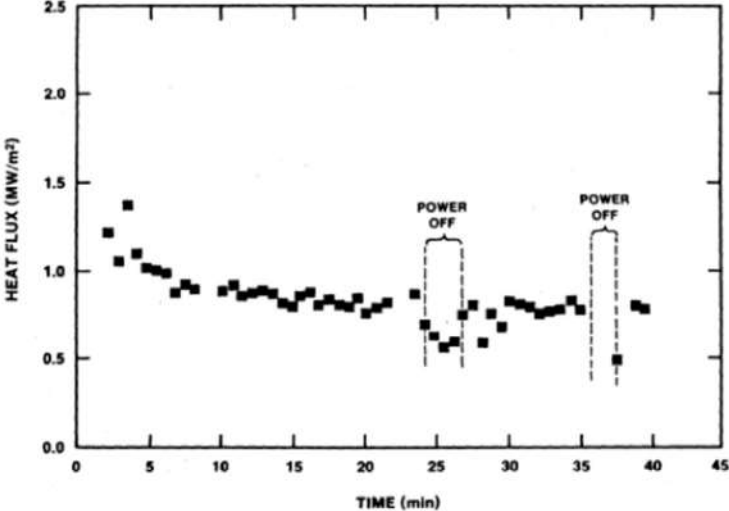
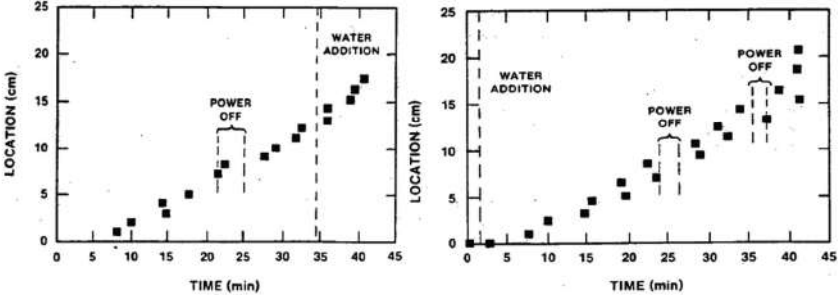
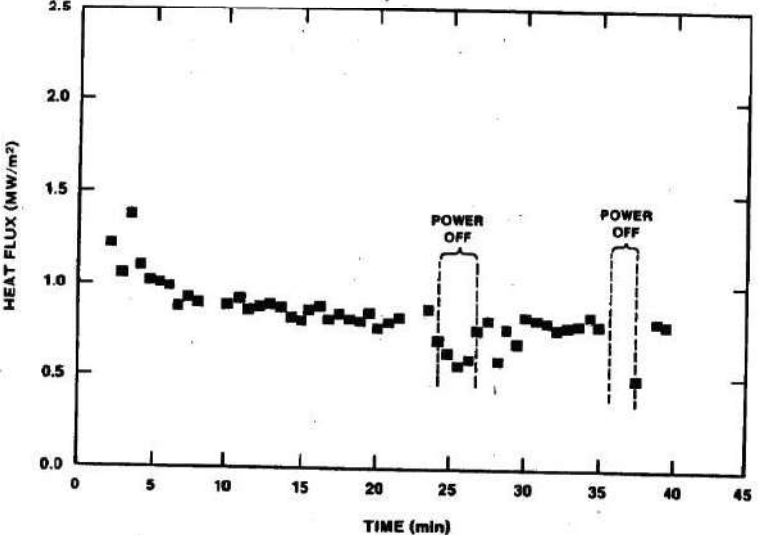
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p> <p>実験条件：45kgのSUSを内径21.6cmのコンクリート上に溶融させた状態で落下して注水を実施。比出力1.6kW/kg SUS</p> <p>実験装置の概要 (SWISS実験)</p> <p>実験結果および解析結果の比較 (SWISS実験)</p> <p>付図 2-1 SWISS 実験の実験装置とコンクリート侵食深さの実験と解析 (MAAP) の比較^[7]</p>	<p>図 3.1-6 SWISS 実験装置概要</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

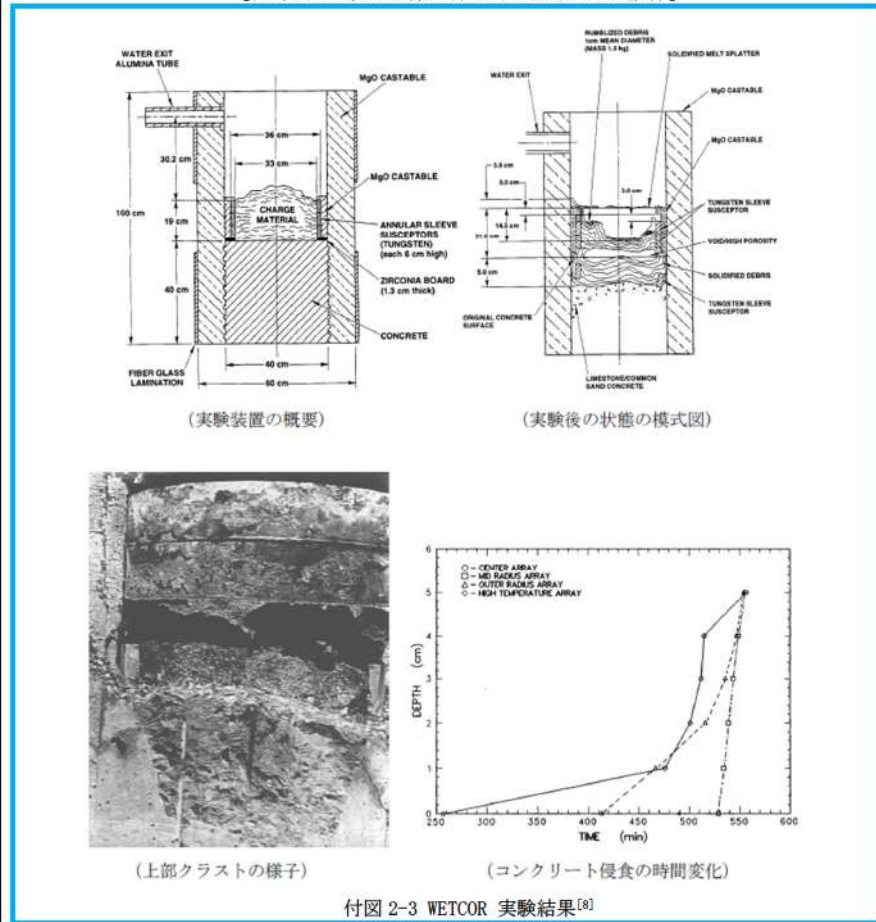
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 204 815 228">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p data-bbox="392 882 817 906">付図2-2 SWISS-2 実験の水プールへの熱流束^[7]</p>	 <p data-bbox="1317 614 1706 673">図3.1-7 SWISS-1及びSWISS-2 実験結果 (コンクリート温度が1600Kに到達した位置)</p>  <p data-bbox="1232 1401 1774 1425">図3.1-8 SWISS-2 実験結果 (溶融物から水プールへの熱流束)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉

【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】



付図2-3 WETCOR 実験結果^[8]

泊発電所3号炉

表 3.1-2 WETCOR 実験 クラストから水への熱流束

Table 6.4 Heat fluxes to water through the thin portion of the crust

t (min)	Heat Transfer Rate (W)	Heat Flux Corrected for Varying Crust Thickness (MW/m ²)
557 to 563	22735 ± 4940	0.52 ± 0.13
582.4	10900 ± 3100	0.25 ± 0.08
589.0	8600 ± 3200	0.20 ± 0.08

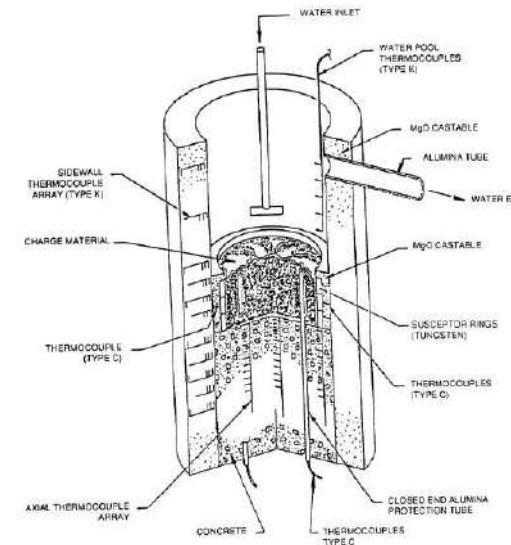


図 3.1-9 WETCOR 実験装置

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

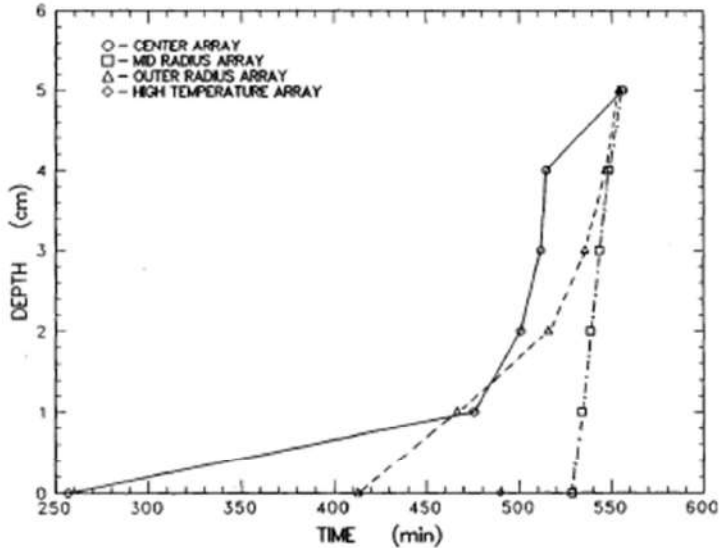
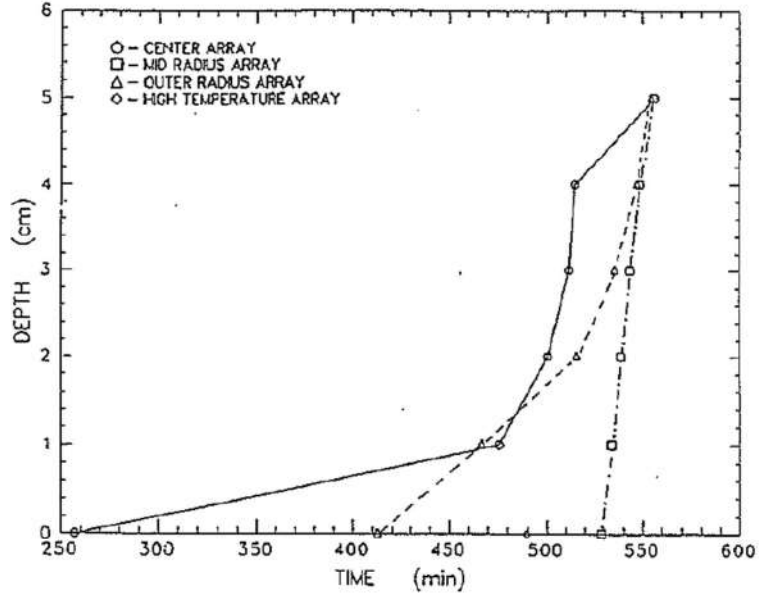
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 3.1-10 WETCOR 実験 メルト加熱履歴</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 167 817 199">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p data-bbox="376 917 817 949">(コンクリート侵食の時間変化)</p> <p data-bbox="481 981 728 1013">付図 2-3 WETCOR 実験結果^[8]</p>	 <p data-bbox="1265 885 1736 917">図 3.1-11 WETCOR 実験結果（コンクリート侵食推移）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 3.1-12 WETCOR 実験 コンクリート温度変化（半径方向中心 r=0cm）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 3.1-13 WETCOR 実験 コンクリート温度変化（半径方向中間部 r=10cm）

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 3.1-14 WETCOR 実験 コンクリート温度変化（外周部 r=15cm）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

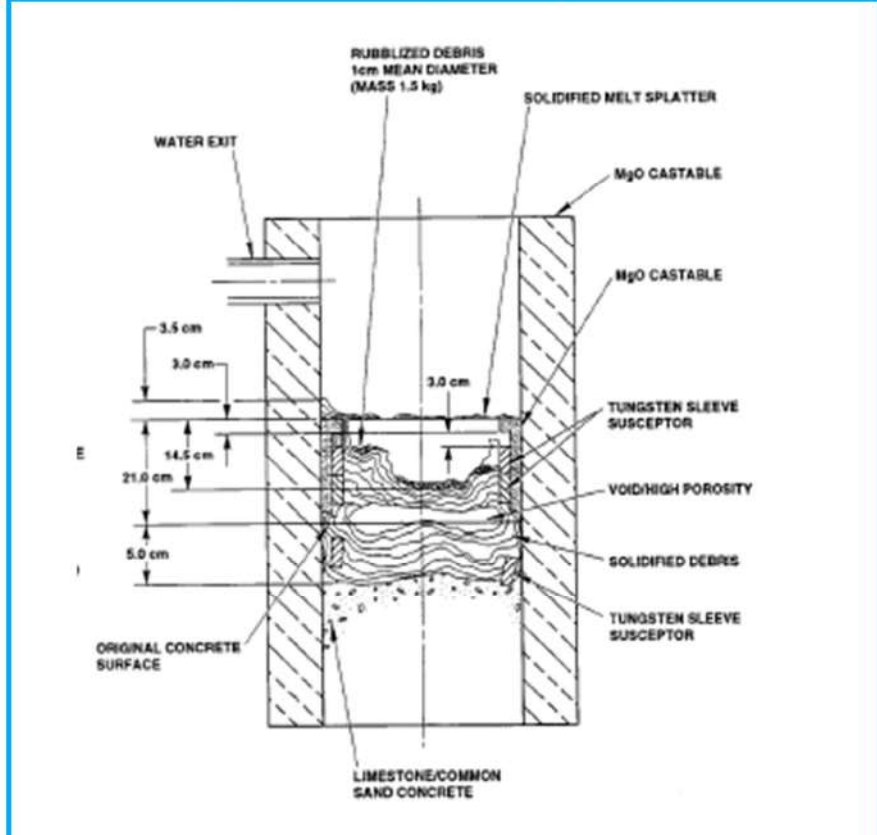
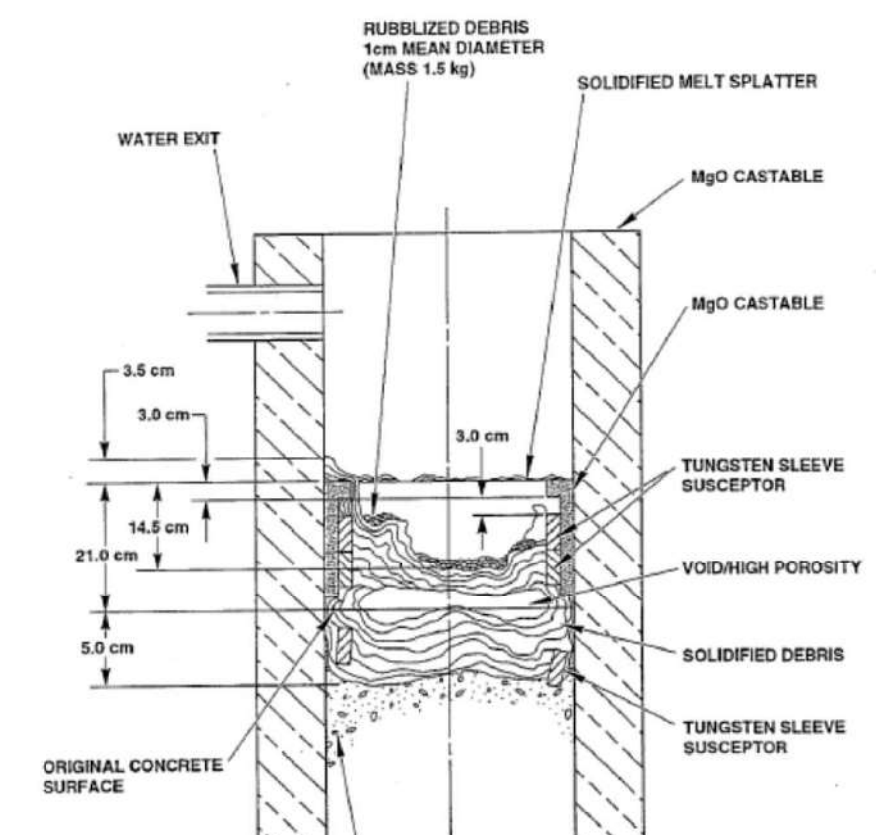
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 3.1-15 WETCOR 実験 メルト温度履歴

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 172 817 199">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p data-bbox="358 1045 761 1085">(実験後の状態の模式図)</p> <p data-bbox="470 1093 739 1117">付図2-3 WETCOR 実験結果^[8]</p>	 <p data-bbox="1299 1228 1702 1252">図3.1-16 WETCOR 実験 試験後テスト部状態</p>	

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

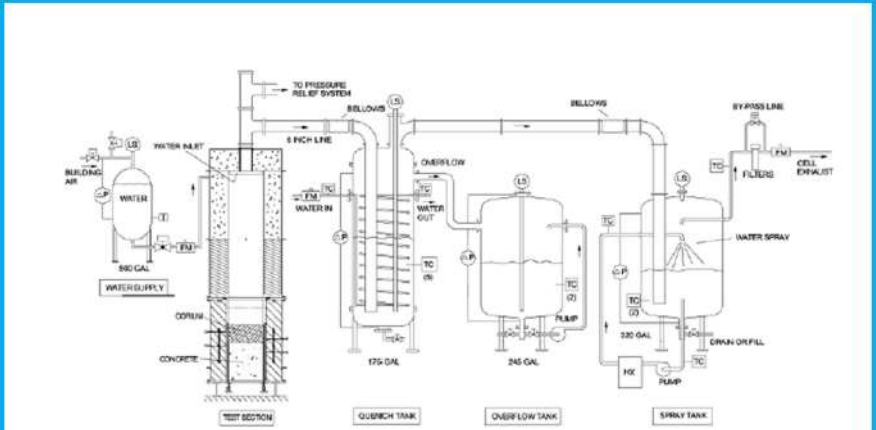
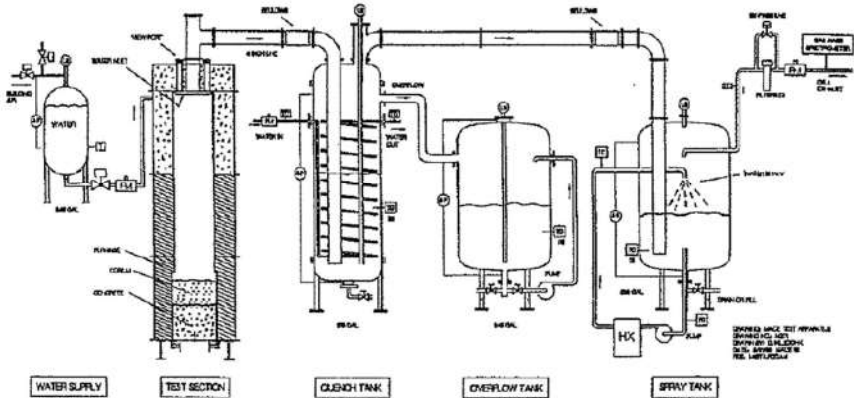
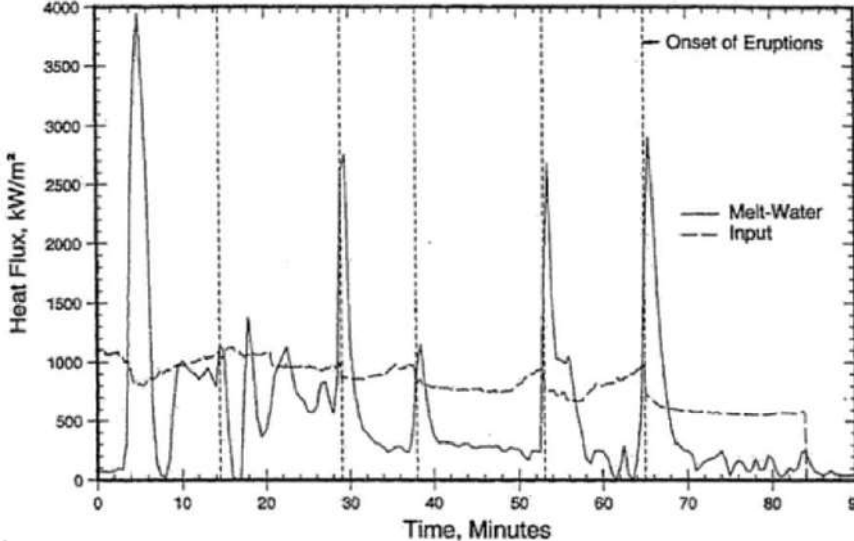
赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																																																																				
<p style="text-align: center;">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p> <p style="text-align: center;">付表 2-1 MACE 実験の主要条件^[20]</p> <table border="1" data-bbox="241 287 967 721"> <thead> <tr> <th></th> <th>M0</th> <th>M1b</th> <th>M3</th> <th>M4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶融炉心模擬物重量 (kg)</td> <td>130</td> <td>480</td> <td>1800</td> <td>480</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)</td> <td>UO₂</td> <td>56</td> <td>65</td> <td>57</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>ZrO₂</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>29</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>その他 (コンクリート 成分等)</td> <td>29</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物深さ (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.25</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物初期温度 (K)</td> <td>2000</td> <td>2350</td> <td>2250</td> <td>2280</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)</td> <td>100</td> <td>130</td> <td>300</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>コンクリートの種類</td> <td>石灰岩系</td> <td>石灰岩系</td> <td>石灰岩系</td> <td>ケイ酸系</td> </tr> <tr> <td>コンクリート床面積 (m²)</td> <td>0.3×0.3</td> <td>0.5×0.5</td> <td>1.2×1.2</td> <td>0.5×0.5</td> </tr> <tr> <td>コンクリート床の深さ (m)</td> <td>0.35</td> <td>0.55</td> <td>0.55</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>水位 (m)</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>		M0	M1b	M3	M4	溶融炉心模擬物重量 (kg)	130	480	1800	480	コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)	UO ₂	56	65	57	57	ZrO ₂	11	13	29	29	Zr	4	3	-	-	その他 (コンクリート 成分等)	29	19	14	14	溶融炉心模擬物深さ (m)	0.15	0.25	0.2	0.3	溶融炉心模擬物初期温度 (K)	2000	2350	2250	2280	溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)	100	130	300	130	コンクリートの種類	石灰岩系	石灰岩系	石灰岩系	ケイ酸系	コンクリート床面積 (m ²)	0.3×0.3	0.5×0.5	1.2×1.2	0.5×0.5	コンクリート床の深さ (m)	0.35	0.55	0.55	0.55	水位 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	<p style="text-align: center;">表 3.1-3 MACE 実験条件一覧</p> <table border="1" data-bbox="1084 290 1930 810"> <thead> <tr> <th></th> <th>M0</th> <th>M1b</th> <th>M3</th> <th>M4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶融炉心模擬物重量 (kg)</td> <td>130</td> <td>480</td> <td>1800</td> <td>480</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)</td> <td>UO₂</td> <td>56</td> <td>65</td> <td>57</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>ZrO₂</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>29</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>その他 (コンクリート 成分等)</td> <td>29</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物深さ (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.25</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物初期温度 (K)</td> <td>2000</td> <td>2350</td> <td>2250</td> <td>2280</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)</td> <td>100</td> <td>130</td> <td>300</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>コンクリートの種類</td> <td>石灰岩系</td> <td>石灰岩系</td> <td>石灰岩系</td> <td>ケイ酸系</td> </tr> <tr> <td>コンクリート床面積 (m²)</td> <td>0.3×0.3</td> <td>0.5×0.5</td> <td>1.2×1.2</td> <td>0.5×0.5</td> </tr> <tr> <td>コンクリート床の深さ (m)</td> <td>0.35</td> <td>0.55</td> <td>0.55</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>水位 (m)</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>		M0	M1b	M3	M4	溶融炉心模擬物重量 (kg)	130	480	1800	480	コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)	UO ₂	56	65	57	57	ZrO ₂	11	13	29	29	Zr	4	3	-	-	その他 (コンクリート 成分等)	29	19	14	14	溶融炉心模擬物深さ (m)	0.15	0.25	0.2	0.3	溶融炉心模擬物初期温度 (K)	2000	2350	2250	2280	溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)	100	130	300	130	コンクリートの種類	石灰岩系	石灰岩系	石灰岩系	ケイ酸系	コンクリート床面積 (m ²)	0.3×0.3	0.5×0.5	1.2×1.2	0.5×0.5	コンクリート床の深さ (m)	0.35	0.55	0.55	0.55	水位 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	
	M0	M1b	M3	M4																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物重量 (kg)	130	480	1800	480																																																																																																																																		
コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)	UO ₂	56	65	57	57																																																																																																																																	
	ZrO ₂	11	13	29	29																																																																																																																																	
	Zr	4	3	-	-																																																																																																																																	
	その他 (コンクリート 成分等)	29	19	14	14																																																																																																																																	
溶融炉心模擬物深さ (m)	0.15	0.25	0.2	0.3																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物初期温度 (K)	2000	2350	2250	2280																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)	100	130	300	130																																																																																																																																		
コンクリートの種類	石灰岩系	石灰岩系	石灰岩系	ケイ酸系																																																																																																																																		
コンクリート床面積 (m ²)	0.3×0.3	0.5×0.5	1.2×1.2	0.5×0.5																																																																																																																																		
コンクリート床の深さ (m)	0.35	0.55	0.55	0.55																																																																																																																																		
水位 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5																																																																																																																																		
	M0	M1b	M3	M4																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物重量 (kg)	130	480	1800	480																																																																																																																																		
コンクリート床 浸食開始時溶融炉心 模擬物組成(%)	UO ₂	56	65	57	57																																																																																																																																	
	ZrO ₂	11	13	29	29																																																																																																																																	
	Zr	4	3	-	-																																																																																																																																	
	その他 (コンクリート 成分等)	29	19	14	14																																																																																																																																	
溶融炉心模擬物深さ (m)	0.15	0.25	0.2	0.3																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物初期温度 (K)	2000	2350	2250	2280																																																																																																																																		
溶融炉心模擬物初期発熱量 (kW)	100	130	300	130																																																																																																																																		
コンクリートの種類	石灰岩系	石灰岩系	石灰岩系	ケイ酸系																																																																																																																																		
コンクリート床面積 (m ²)	0.3×0.3	0.5×0.5	1.2×1.2	0.5×0.5																																																																																																																																		
コンクリート床の深さ (m)	0.35	0.55	0.55	0.55																																																																																																																																		
水位 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5																																																																																																																																		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

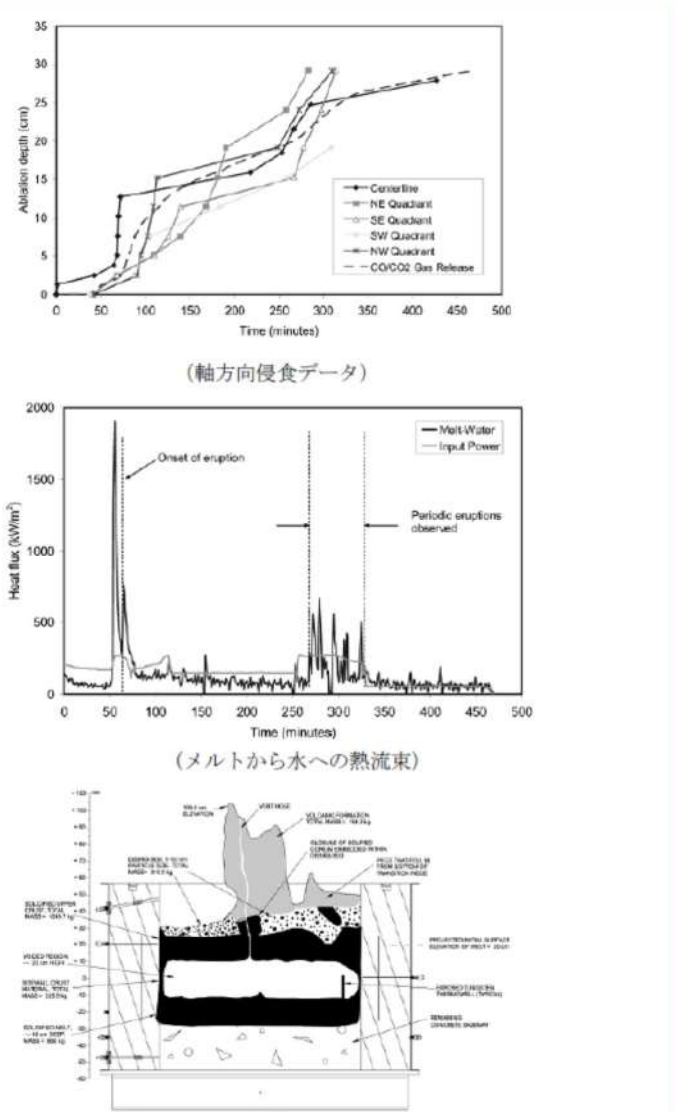
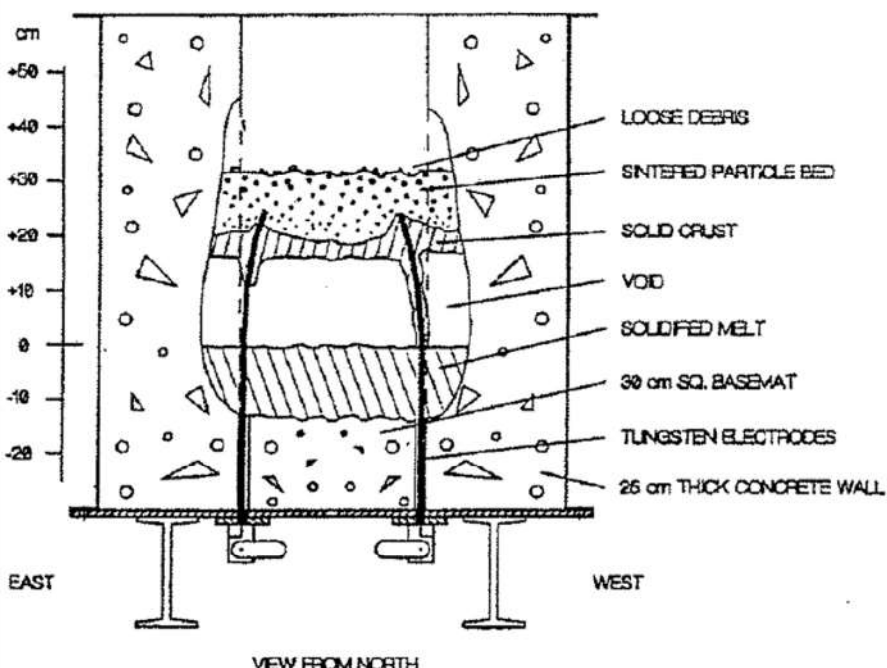
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p>付図 2-4 MACE 及び OECD/MCCI 実験装置^[9]</p>	 <p>図 3.1-17 MACE 実験装置</p>	
	 <p>図 3.1-18 MACE-M0 実験での水への熱流束</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

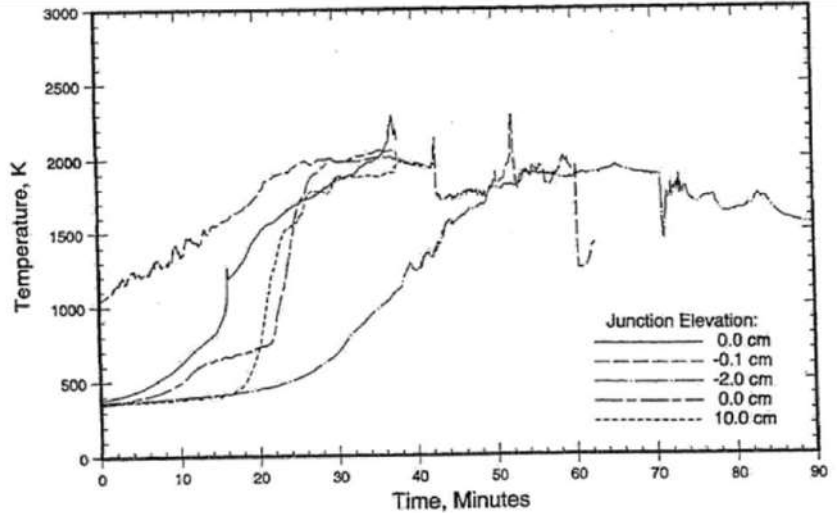
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p>Ablation depth (cm)</p> <p>Time (minutes)</p> <p>Centerline NE Quadrant SE Quadrant SW Quadrant NW Quadrant CO/CO2 Gas Release</p> <p>(軸方向侵食データ)</p> <p>Heat flux (MW/m²)</p> <p>Time (minutes)</p> <p>Onset of eruption Periodic eruptions observed</p> <p>Melt/Water Input Power</p> <p>(メルトから水への熱流束)</p> <p>(実験後状態の模式)</p>	 <p>VIEW FROM NORTH</p> <p>LOOSE DEBRIS SINTERED PARTICLE BED SOLID CRUST VOID SOLIDIFIED MELT 30 cm SQ. BASEMAT TUNGSTEN ELECTRODES 25 cm THICK CONCRETE WALL</p> <p>EAST WEST</p> <p>図 3. 1-19 MACE-MO 実験後の溶融炉心模擬物の状況</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

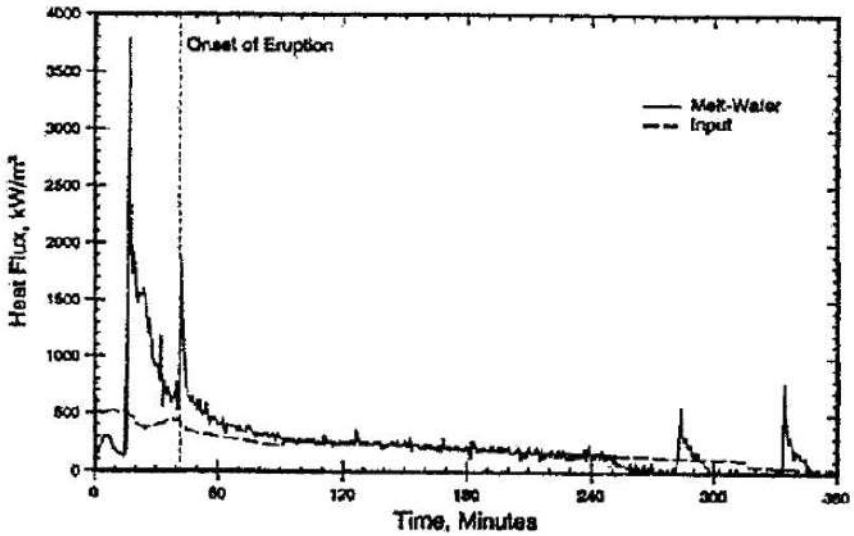
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
付図2-5 MACE-M3b 実験結果 ^[10]	 <p style="text-align: center;">図 3.1-20 MACE-M0 実験での溶融物温度変化</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p data-bbox="1182 783 1839 807">図 3.1-21 MACE-M1b 実験における溶融炉心模擬物から水プールへの熱流束</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

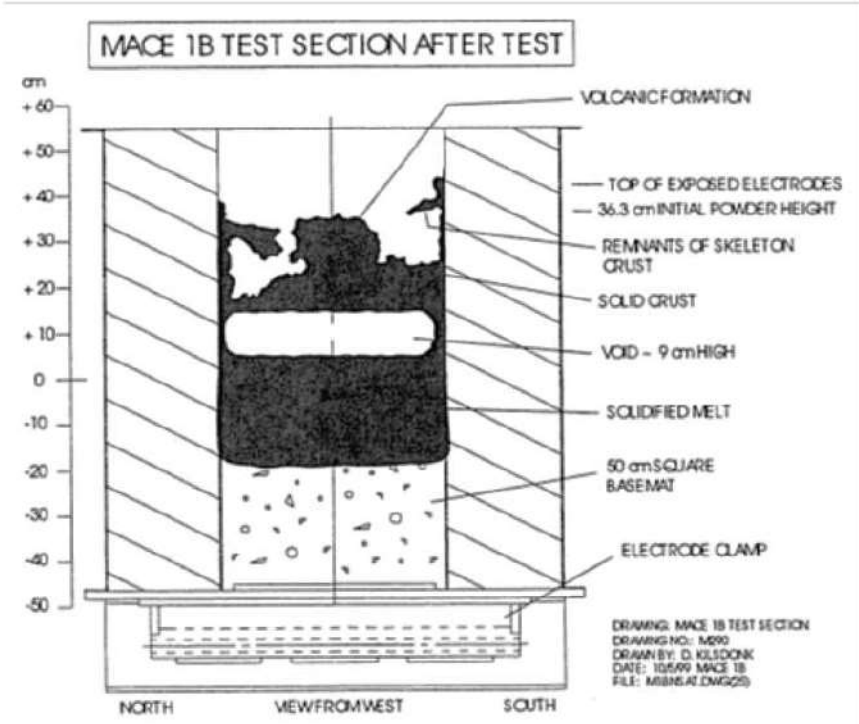
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
		

図 3. 1-22 MACE-M1b 実験での実験後の溶融炉心の状態

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 3.1-23 MACE-M1b 実験での溶融物温度変化</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

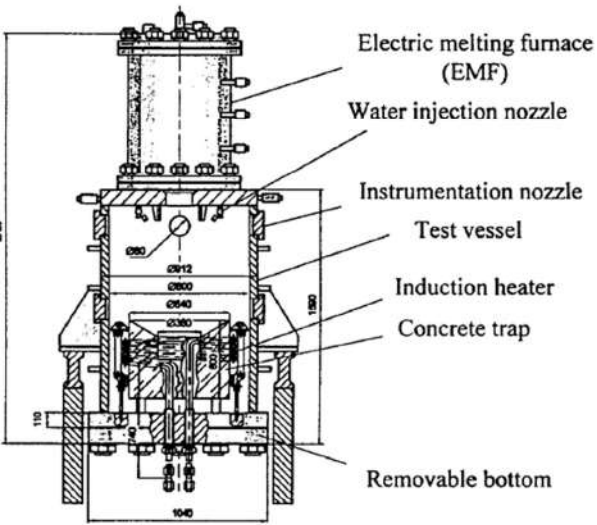
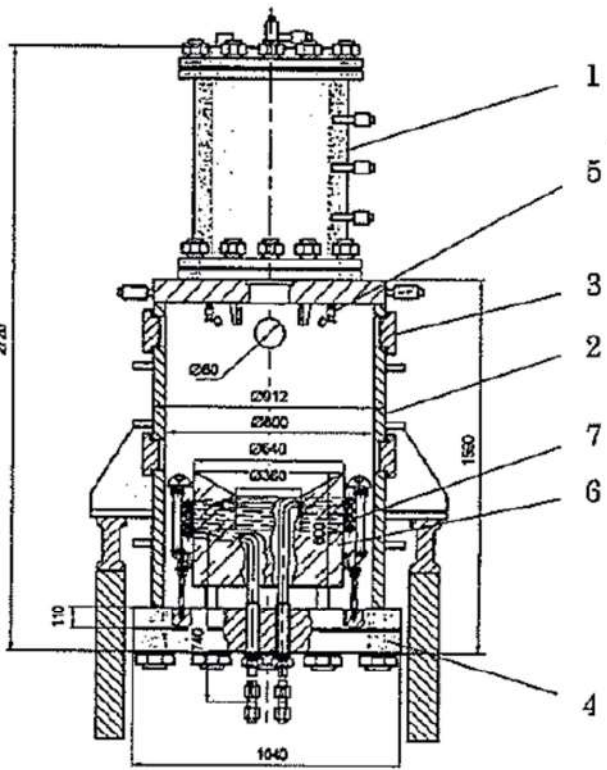
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉											相違理由																																																																																																																																																																																																																										
表 3.1-4 COTELS (B及びC) 実験条件一覧																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ケース (B及びC)</th> <th>5a</th> <th>5</th> <th>4</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>10</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶融物タイプ</td> <td colspan="3">B</td> <td colspan="2">A</td> <td colspan="5">B</td> </tr> <tr> <td>溶融物重量 (kg)</td> <td>47</td> <td>56</td> <td>53</td> <td>45</td> <td>46</td> <td>58</td> <td>56</td> <td>52</td> <td>42</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>溶融物出力 (kW)</td> <td>0</td> <td>150</td> <td>170</td> <td>155</td> <td>150</td> <td>150</td> <td>150</td> <td>150</td> <td>110-140</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>コンクリートトラップ径(m)</td> <td colspan="3">0.26</td> <td colspan="7">0.36</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">注水条件</td> <td>方式</td> <td>—</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Jet</td> <td>Spray</td> </tr> <tr> <td>質量流量 (kg/s)</td> <td>—</td> <td>0.02</td> <td>0.04</td> <td>0.03</td> <td>0.03</td> <td>0.03</td> <td>0.04</td> <td>0.03</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>開始時刻 (min)</td> <td>—</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>実験後の溶融物状態</td> <td colspan="10"></td> </tr> <tr> <td>デブリ粒子重量 (kg)</td> <td>9</td> <td>21.5</td> <td>19</td> <td>35</td> <td>33</td> <td>48</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>(粒子化割合)</td> <td>(19%)</td> <td>(38%)</td> <td>(34%)</td> <td>(78%)</td> <td>(72%)</td> <td>(83%)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>粒子径 16mm 以上 (kg)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>18</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>粒子径 16mm 以下 (kg)</td> <td>6</td> <td>21.5</td> <td>13</td> <td>32</td> <td>33</td> <td>30</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>平均粒子径 (mm)</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>2.2</td> <td>1.5</td> <td>1.0</td> <td>0.4</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>溶融炉心重量 (kg)</td> <td>38</td> <td>34.5</td> <td>37</td> <td>10</td> <td>13</td> <td>10</td> <td>53</td> <td>52</td> <td>42</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>実験後のコンクリート状態</td> <td colspan="10"></td> </tr> <tr> <td>侵食量 (底面) (mm)</td> <td>28</td> <td>25</td> <td>22</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>侵食量 (側面) (mm)</td> <td>13</td> <td>10</td> <td>25</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>48</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>8</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>砂鏝深さ (mm)</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>18</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>変色深さ (mm)</td> <td>40</td> <td>55</td> <td>65</td> <td>40</td> <td>34</td> <td>35</td> <td>32</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>												ケース (B及びC)	5a	5	4	2	3	10	6	7	8	9	溶融物タイプ	B			A		B					溶融物重量 (kg)	47	56	53	45	46	58	56	52	42	51	溶融物出力 (kW)	0	150	170	155	150	150	150	150	110-140	150	コンクリートトラップ径(m)	0.26			0.36							注水条件	方式	—	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Spray	質量流量 (kg/s)	—	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	開始時刻 (min)	—	8	8	8	8	15	9	10	10	実験後の溶融物状態											デブリ粒子重量 (kg)	9	21.5	19	35	33	48	—	—	—	—	(粒子化割合)	(19%)	(38%)	(34%)	(78%)	(72%)	(83%)					粒子径 16mm 以上 (kg)	0	0	6	0	0	18	—	—	—	—	粒子径 16mm 以下 (kg)	6	21.5	13	32	33	30	—	—	—	—	平均粒子径 (mm)	0.6	0.8	2.2	1.5	1.0	0.4	—	—	—	—	溶融炉心重量 (kg)	38	34.5	37	10	13	10	53	52	42	51	実験後のコンクリート状態											侵食量 (底面) (mm)	28	25	22	15	20	40	15	15	15	10	侵食量 (側面) (mm)	13	10	25	15	15	48	8	10	8	~0	砂鏝深さ (mm)	12	15	21	18	15	15	10	12	12	5	変色深さ (mm)	40	55	65	40	34	35	32	35	30	20	
ケース (B及びC)	5a	5	4	2	3	10	6	7	8	9																																																																																																																																																																																																																												
溶融物タイプ	B			A		B																																																																																																																																																																																																																																
溶融物重量 (kg)	47	56	53	45	46	58	56	52	42	51																																																																																																																																																																																																																												
溶融物出力 (kW)	0	150	170	155	150	150	150	150	110-140	150																																																																																																																																																																																																																												
コンクリートトラップ径(m)	0.26			0.36																																																																																																																																																																																																																																		
注水条件	方式	—	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Jet	Spray																																																																																																																																																																																																																												
	質量流量 (kg/s)	—	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04																																																																																																																																																																																																																												
	開始時刻 (min)	—	8	8	8	8	15	9	10	10																																																																																																																																																																																																																												
実験後の溶融物状態																																																																																																																																																																																																																																						
デブリ粒子重量 (kg)	9	21.5	19	35	33	48	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																												
(粒子化割合)	(19%)	(38%)	(34%)	(78%)	(72%)	(83%)																																																																																																																																																																																																																																
粒子径 16mm 以上 (kg)	0	0	6	0	0	18	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																												
粒子径 16mm 以下 (kg)	6	21.5	13	32	33	30	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																												
平均粒子径 (mm)	0.6	0.8	2.2	1.5	1.0	0.4	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																												
溶融炉心重量 (kg)	38	34.5	37	10	13	10	53	52	42	51																																																																																																																																																																																																																												
実験後のコンクリート状態																																																																																																																																																																																																																																						
侵食量 (底面) (mm)	28	25	22	15	20	40	15	15	15	10																																																																																																																																																																																																																												
侵食量 (側面) (mm)	13	10	25	15	15	48	8	10	8	~0																																																																																																																																																																																																																												
砂鏝深さ (mm)	12	15	21	18	15	15	10	12	12	5																																																																																																																																																																																																																												
変色深さ (mm)	40	55	65	40	34	35	32	35	30	20																																																																																																																																																																																																																												
溶融物タイプ： A : UO ₂ -78wt%, SUS-5wt%, ZrO ₂ -17wt%, Zr-0wt% B : UO ₂ -55wt%, SUS-15wt%, ZrO ₂ -5wt%, Zr-25wt%																																																																																																																																																																																																																																						

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

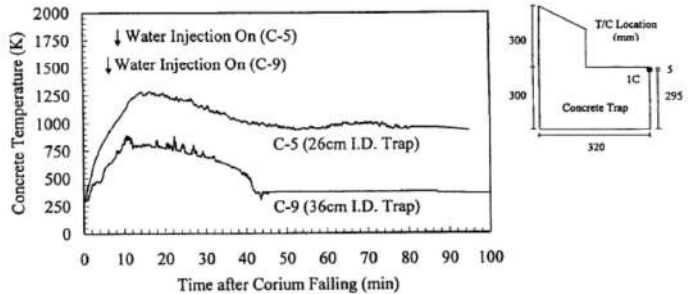
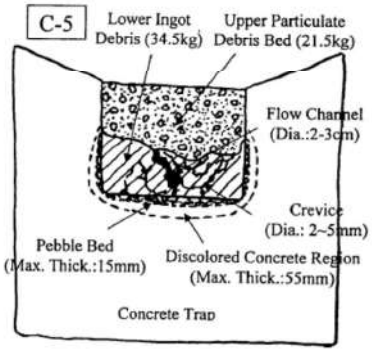
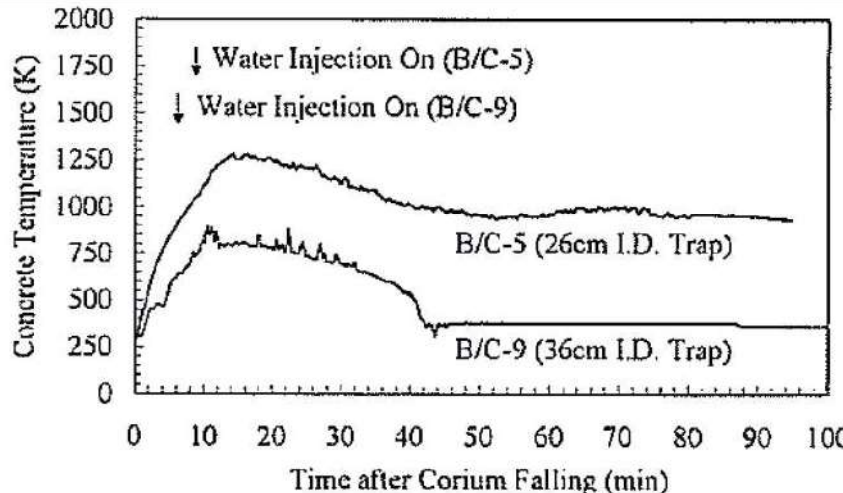
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 204 815 228">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p data-bbox="241 813 967 837">付図 2-7 COTELS 実験装置（コンクリート上のUO2 コリウムに注水する実験）^[11]</p>	 <p data-bbox="1209 973 1836 1069">1:EMF, 2:Test vessel, 3:Instrumentation nozzle, 4:Removable bottom, 5:Water injection nozzle, 6:Concrete trap, 7:Induction heater</p> <p data-bbox="1332 1157 1680 1181">図 3.1-24 COTELS (B及びC) 実験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 236 815 263">【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p data-bbox="465 630 672 654">(コンクリート床温度変化)</p>  <p data-bbox="488 1093 750 1117">(実験後のコリウム断面の模式図)</p> <p data-bbox="443 1157 772 1181">付図 2-8 COTELS C-5 実験の結果^[11]</p>	 <p data-bbox="1220 750 1814 774">図 3.1-25 COTELS (B及びC) 実験におけるコンクリート温度挙動</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>Case (1a) : B/C-5</p> <p>Case (1b) : B/C-4</p> <p>Case (2) : B/C-3</p> <p>Case (3) : B/C-9</p>	

図 3.1-26 COTELS 実験での溶融物固化状態

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

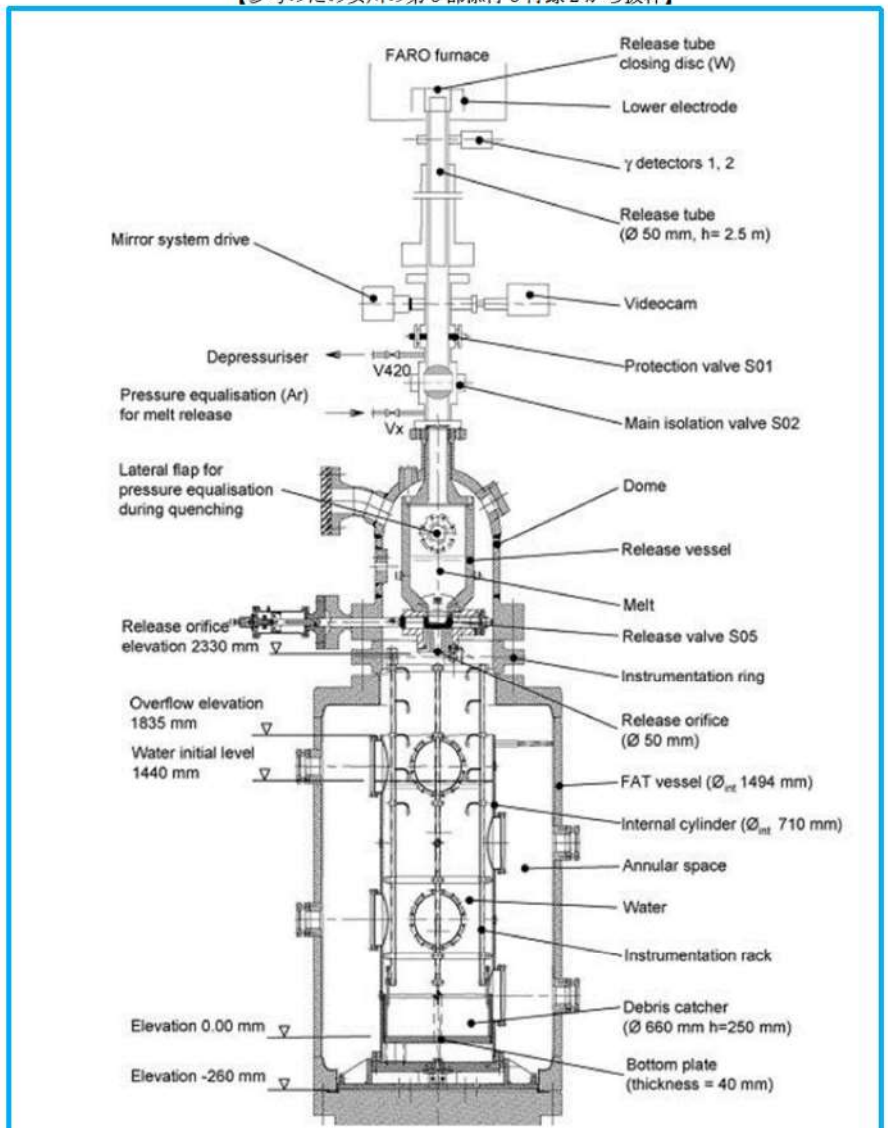
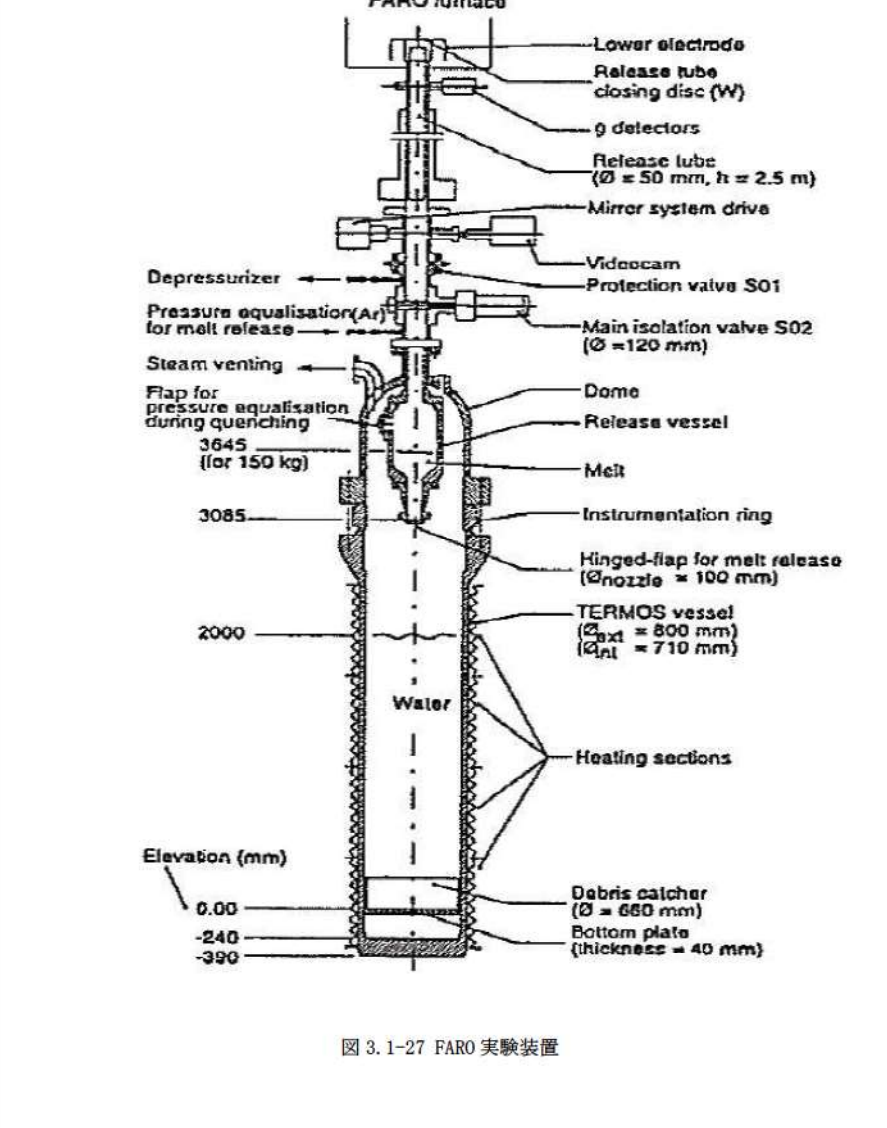
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
<p style="text-align: center;">【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】</p> <p style="text-align: center;">付表3-1 FARO 実験マトリックス^[14]</p> <p>FARO LWR test series—main experimental conditions and debris data</p> <table border="1" data-bbox="152 231 1025 638"> <thead> <tr> <th>Test</th> <th>L-06</th> <th>L-08</th> <th>L-11</th> <th>L-14</th> <th>L-19</th> <th>L-20</th> <th>L-24</th> <th>L-27</th> <th>L-28</th> <th>L-29</th> <th>L-31</th> <th>L-33</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="13">Experimental conditions</td> </tr> <tr> <td>Corium composition^a</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Melt mass^b (kg)</td> <td>18</td> <td>44</td> <td>151</td> <td>125</td> <td>157</td> <td>96</td> <td>177</td> <td>117</td> <td>175</td> <td>39</td> <td>92</td> <td>100^c</td> </tr> <tr> <td>Melt temperature (K)</td> <td>2923</td> <td>3023</td> <td>2823</td> <td>3123</td> <td>3073</td> <td>3173</td> <td>3023</td> <td>3023</td> <td>3052</td> <td>3070</td> <td>2990</td> <td>3070</td> </tr> <tr> <td>Melt release diameter^d (mm)</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Melt fall height in gas (m)</td> <td>1.83</td> <td>1.53</td> <td>1.09</td> <td>1.04</td> <td>1.99</td> <td>1.12</td> <td>1.07</td> <td>0.73</td> <td>0.89</td> <td>0.74</td> <td>0.77</td> <td>0.77</td> </tr> <tr> <td>System pressure (MPa)</td> <td>5</td> <td>5.8</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.2</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Gas phase</td> <td>Steam/Ar</td> <td>Steam/Ar</td> <td>Steam/Ar</td> <td>Steam/Ar</td> <td>Steam^e</td> <td>Steam^e</td> <td>Steam^e</td> <td>Steam^e</td> <td>Steam^e</td> <td>Argon</td> <td>Argon</td> <td>Argon</td> </tr> <tr> <td>Water depth (m)</td> <td>0.87</td> <td>1.00</td> <td>2.00</td> <td>2.05</td> <td>1.10</td> <td>1.97</td> <td>2.02</td> <td>1.47</td> <td>1.44</td> <td>1.48</td> <td>1.45</td> <td>1.60</td> </tr> <tr> <td>Water temperature (K)</td> <td>539</td> <td>536</td> <td>535</td> <td>537</td> <td>536</td> <td>486</td> <td>425</td> <td>424</td> <td>424</td> <td>297</td> <td>291</td> <td>293</td> </tr> <tr> <td>Water subcooling (K)</td> <td>0</td> <td>12</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>97</td> <td>104</td> <td>124</td> </tr> <tr> <td>Water Mass (kg)</td> <td>120</td> <td>255</td> <td>608</td> <td>623</td> <td>330</td> <td>660</td> <td>719</td> <td>536</td> <td>517</td> <td>492</td> <td>481</td> <td>625</td> </tr> <tr> <td colspan="13">Debris bed data^f</td> </tr> <tr> <td>Hard debris, cake (kg-%)</td> <td>6, 33</td> <td>14, 32</td> <td>0, 0</td> <td>20, 16</td> <td>77, 49</td> <td>21, 22</td> <td>27, 16</td> <td>26, 23</td> <td>77, 48</td> <td>39, 100</td> <td>0, 0</td> <td>8, 8</td> </tr> <tr> <td>Loose debris (kg-%)</td> <td>12, 67</td> <td>30, 68</td> <td>146, 100</td> <td>105, 84</td> <td>80, 51</td> <td>73, 78</td> <td>141, 84</td> <td>70, 77</td> <td>84, 52</td> <td>0, 0</td> <td>83, 100</td> <td>89, 92</td> </tr> <tr> <td>Mean loose debris size (mm)</td> <td>4.5</td> <td>3.8</td> <td>3.5</td> <td>4.8</td> <td>3.7</td> <td>4.4</td> <td>2.6</td> <td>Na^g</td> <td>3.0</td> <td>-</td> <td>3.4</td> <td>2.6^h</td> </tr> </tbody> </table> <p>^a A: 80 wt.% UO₂-20 wt.% ZrO₂; B: 77 wt.% UO₂-19 wt.% ZrO₂-4 wt.% Zr.</p>	Test	L-06	L-08	L-11	L-14	L-19	L-20	L-24	L-27	L-28	L-29	L-31	L-33	Experimental conditions													Corium composition ^a	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Melt mass ^b (kg)	18	44	151	125	157	96	177	117	175	39	92	100 ^c	Melt temperature (K)	2923	3023	2823	3123	3073	3173	3023	3023	3052	3070	2990	3070	Melt release diameter ^d (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	Melt fall height in gas (m)	1.83	1.53	1.09	1.04	1.99	1.12	1.07	0.73	0.89	0.74	0.77	0.77	System pressure (MPa)	5	5.8	5	5	5	2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.4	Gas phase	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Argon	Argon	Argon	Water depth (m)	0.87	1.00	2.00	2.05	1.10	1.97	2.02	1.47	1.44	1.48	1.45	1.60	Water temperature (K)	539	536	535	537	536	486	425	424	424	297	291	293	Water subcooling (K)	0	12	2	0	1	0	0	1	1	97	104	124	Water Mass (kg)	120	255	608	623	330	660	719	536	517	492	481	625	Debris bed data ^f													Hard debris, cake (kg-%)	6, 33	14, 32	0, 0	20, 16	77, 49	21, 22	27, 16	26, 23	77, 48	39, 100	0, 0	8, 8	Loose debris (kg-%)	12, 67	30, 68	146, 100	105, 84	80, 51	73, 78	141, 84	70, 77	84, 52	0, 0	83, 100	89, 92	Mean loose debris size (mm)	4.5	3.8	3.5	4.8	3.7	4.4	2.6	Na ^g	3.0	-	3.4	2.6 ^h	<p style="text-align: center;">表 3.1-5 FARO 実験条件及び結果一覧</p> <table border="1" data-bbox="1086 279 1944 598"> <thead> <tr> <th>実験 ID</th> <th>UO₂ 質量割合※</th> <th>溶融物質量 kg</th> <th>溶融物温度 K</th> <th>溶融物落下径 mm</th> <th>雰囲気圧力 MPa</th> <th>水深 m</th> <th>サブクール度 K</th> <th>水蒸気 爆発</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L-06</td><td>0.8</td><td>18</td><td>2,923</td><td>100</td><td>5</td><td>0.87</td><td>0</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-08</td><td>0.8</td><td>44</td><td>3,023</td><td>100</td><td>5.8</td><td>1.00</td><td>12</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-11</td><td>0.77</td><td>151</td><td>2,823</td><td>100</td><td>5</td><td>2.00</td><td>2</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-14</td><td>0.8</td><td>125</td><td>3,123</td><td>100</td><td>5</td><td>2.05</td><td>0</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-19</td><td>0.8</td><td>157</td><td>3,073</td><td>100</td><td>5</td><td>1.10</td><td>1</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-20</td><td>0.8</td><td>96</td><td>3,173</td><td>100</td><td>2</td><td>1.97</td><td>0</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-24</td><td>0.8</td><td>176</td><td>3,023</td><td>100</td><td>0.5</td><td>2.02</td><td>0</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-27</td><td>0.8</td><td>129</td><td>3,023</td><td>100</td><td>0.5</td><td>1.47</td><td>1</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-28</td><td>0.8</td><td>175</td><td>3,052</td><td>50</td><td>0.5</td><td>1.44</td><td>1</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-29</td><td>0.8</td><td>39</td><td>3,070</td><td>50</td><td>0.2</td><td>1.48</td><td>97</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-31</td><td>0.8</td><td>92</td><td>2,990</td><td>50</td><td>0.2</td><td>1.45</td><td>104</td><td>なし</td></tr> <tr><td>L-33</td><td>0.8</td><td>100</td><td>3,070</td><td>50</td><td>0.2</td><td>1.60</td><td>124</td><td>なし</td></tr> </tbody> </table> <p>※ 0.8 の場合の組成は 80%UO₂+20%ZrO₂、0.77 の場合の組成は 77%UO₂+19%ZrO₂+4%Zr。</p>	実験 ID	UO ₂ 質量割合※	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	溶融物落下径 mm	雰囲気圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	水蒸気 爆発	L-06	0.8	18	2,923	100	5	0.87	0	なし	L-08	0.8	44	3,023	100	5.8	1.00	12	なし	L-11	0.77	151	2,823	100	5	2.00	2	なし	L-14	0.8	125	3,123	100	5	2.05	0	なし	L-19	0.8	157	3,073	100	5	1.10	1	なし	L-20	0.8	96	3,173	100	2	1.97	0	なし	L-24	0.8	176	3,023	100	0.5	2.02	0	なし	L-27	0.8	129	3,023	100	0.5	1.47	1	なし	L-28	0.8	175	3,052	50	0.5	1.44	1	なし	L-29	0.8	39	3,070	50	0.2	1.48	97	なし	L-31	0.8	92	2,990	50	0.2	1.45	104	なし	L-33	0.8	100	3,070	50	0.2	1.60	124	なし	
Test	L-06	L-08	L-11	L-14	L-19	L-20	L-24	L-27	L-28	L-29	L-31	L-33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Experimental conditions																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Corium composition ^a	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Melt mass ^b (kg)	18	44	151	125	157	96	177	117	175	39	92	100 ^c																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Melt temperature (K)	2923	3023	2823	3123	3073	3173	3023	3023	3052	3070	2990	3070																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Melt release diameter ^d (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Melt fall height in gas (m)	1.83	1.53	1.09	1.04	1.99	1.12	1.07	0.73	0.89	0.74	0.77	0.77																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
System pressure (MPa)	5	5.8	5	5	5	2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Gas phase	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam/Ar	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Steam ^e	Argon	Argon	Argon																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Water depth (m)	0.87	1.00	2.00	2.05	1.10	1.97	2.02	1.47	1.44	1.48	1.45	1.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Water temperature (K)	539	536	535	537	536	486	425	424	424	297	291	293																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Water subcooling (K)	0	12	2	0	1	0	0	1	1	97	104	124																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Water Mass (kg)	120	255	608	623	330	660	719	536	517	492	481	625																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Debris bed data ^f																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Hard debris, cake (kg-%)	6, 33	14, 32	0, 0	20, 16	77, 49	21, 22	27, 16	26, 23	77, 48	39, 100	0, 0	8, 8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Loose debris (kg-%)	12, 67	30, 68	146, 100	105, 84	80, 51	73, 78	141, 84	70, 77	84, 52	0, 0	83, 100	89, 92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Mean loose debris size (mm)	4.5	3.8	3.5	4.8	3.7	4.4	2.6	Na ^g	3.0	-	3.4	2.6 ^h																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
実験 ID	UO ₂ 質量割合※	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	溶融物落下径 mm	雰囲気圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	水蒸気 爆発																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-06	0.8	18	2,923	100	5	0.87	0	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-08	0.8	44	3,023	100	5.8	1.00	12	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-11	0.77	151	2,823	100	5	2.00	2	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-14	0.8	125	3,123	100	5	2.05	0	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-19	0.8	157	3,073	100	5	1.10	1	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-20	0.8	96	3,173	100	2	1.97	0	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-24	0.8	176	3,023	100	0.5	2.02	0	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-27	0.8	129	3,023	100	0.5	1.47	1	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-28	0.8	175	3,052	50	0.5	1.44	1	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-29	0.8	39	3,070	50	0.2	1.48	97	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-31	0.8	92	2,990	50	0.2	1.45	104	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L-33	0.8	100	3,070	50	0.2	1.60	124	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p>付図 3-1 FARO 実験装置 (L-27 実験) [14]</p>	 <p>図 3.1-27 FARO 実験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

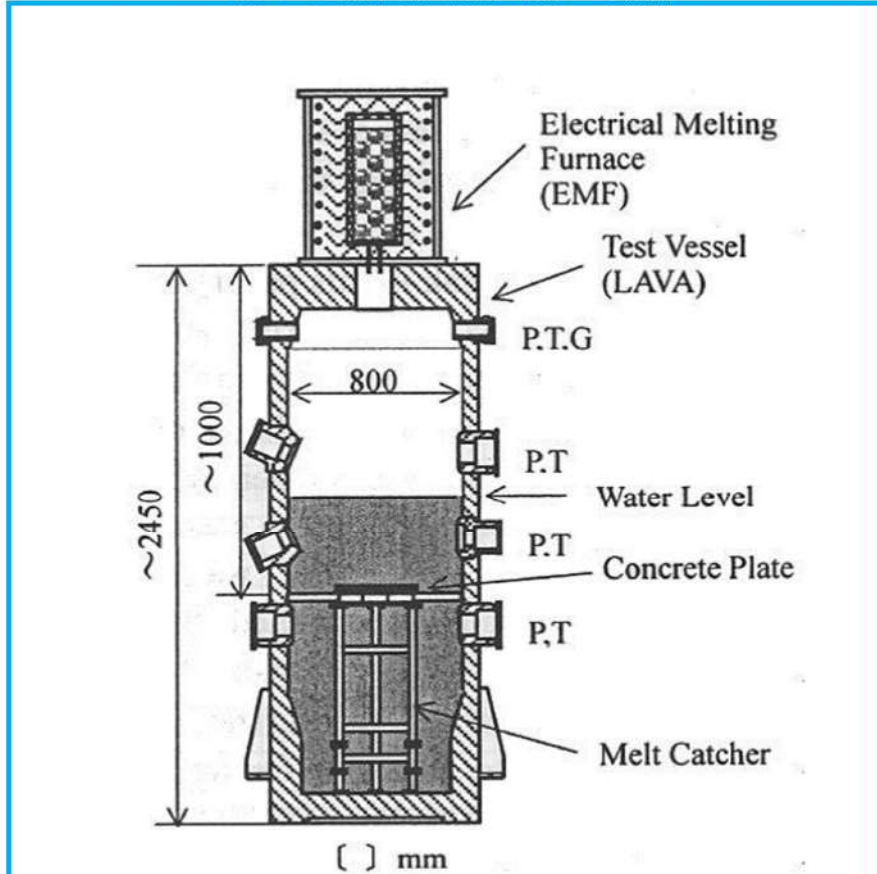
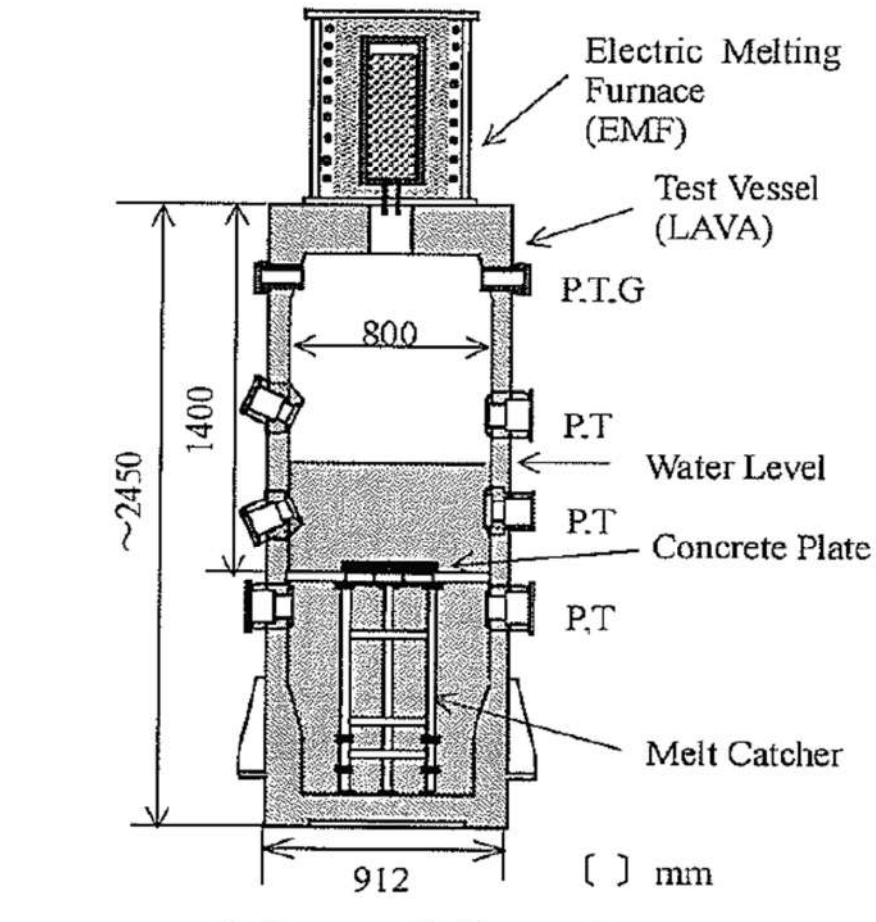
女川原子力発電所2号炉										泊発電所3号炉								相違理由
【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】										表 3.1-6 COTELS (A) 実験条件及び結果一覧								
付表 3-2 COTELS-FCI 実験マトリックス ^[1]																		
Run No.	A1	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	実験 ID	UO ₂ 割合 ※	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	雰囲気圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	水蒸気爆発	
コリウム組成(*1)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A-1	0.55	56.30	3,050	0.20	0.4	0	—	
落下コリウム量, kg	56.3	27.0	55.4	53.1	24.9	47.7	57.1	55.0	53	A-4	0.55	27.00	3,050	0.30	0.4	8	—	
プール水深, m	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0	0.4	0.9	0.4	0.8	A-5	0.55	55.40	3,050	0.25	0.4	12	—	
水サブクール度, K	0	8	12	21	0	21	0	21	86	A-6	0.55	53.10	3,050	0.21	0.4	21	—	
初気圧, MPa	0.20	0.30	0.25	0.21	0.18	0.45	0.21	0.47	0.27	A-8	0.55	47.70	3,050	0.45	0.4	24	—	
雰囲気ガス組成	Steam	Steam	Steam N ₂ 20%	Steam	Steam	Steam	Steam	Steam	Ar	A-9	0.55	57.10	3,050	0.21	0.9	0	—	
差圧, MPa(*2)	0.03	0.03	0.01	-0	-0	0.67(*3)	0.02	0.14	0.13	A-10	0.55	55.00	3,050	0.47	0.4	21	—	
ピーク圧力, MPa	1.34	1.04	0.62	0.88	(*4)	1.83	0.92	3.85	1.08	A-11	0.55	53.00	3,050	0.27	0.8	86	—	
インレットコリウム, kg	5	2.5	4.2	6.5	0	0	3.8	0	4									
質量中央径, mm	6.7	6.2	7.5	7.2	8.2	5.2	7.0	0.38	4.8									
*1)コリウム組成 B: UO ₂ :55wt%+Zr:25%+ZrO ₂ :5%+SS:15%																		

※ いずれも UO₂: 55wt%、Zr: 25wt%、ZrO₂: 5wt%、SS: 15wt%の混合物

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

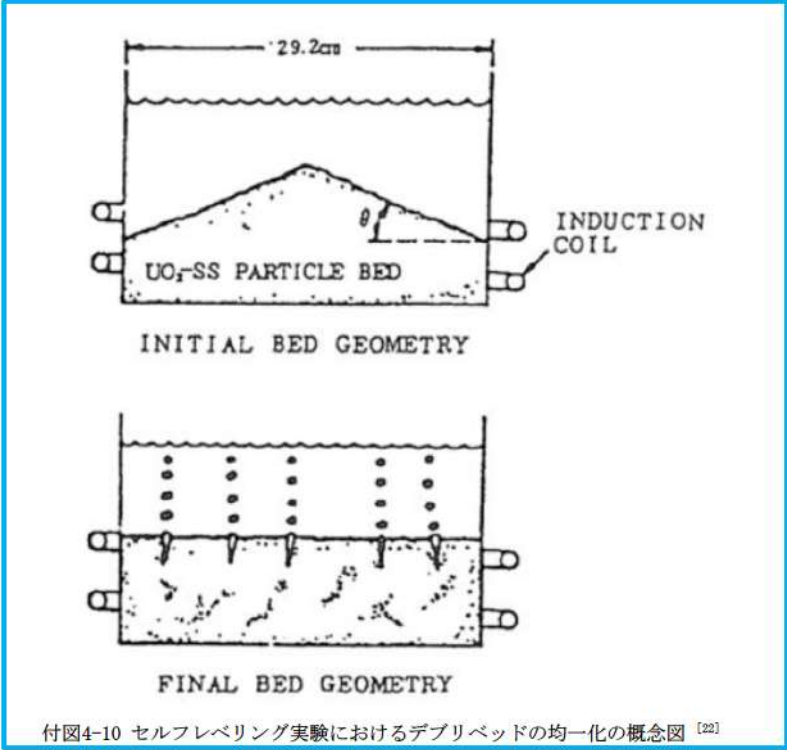
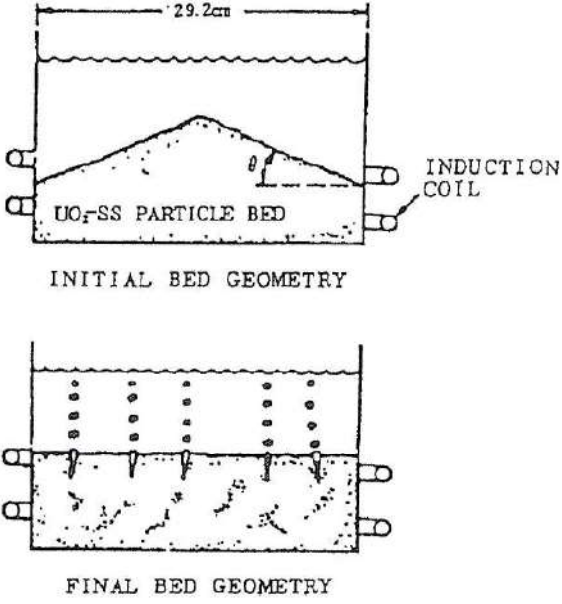
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録3から抜粋】</p>  <p>〔 〕 mm P: Pressure, T: Temperature, G: Gas sampling line</p> <p>付図3-4 COTELS-FCI 実験装置^[15]</p>	 <p>〔 〕 mm P: Pressure, T: Temperature, G: Gas sampling line</p> <p>図3.1-28 COTELS (A) 実験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

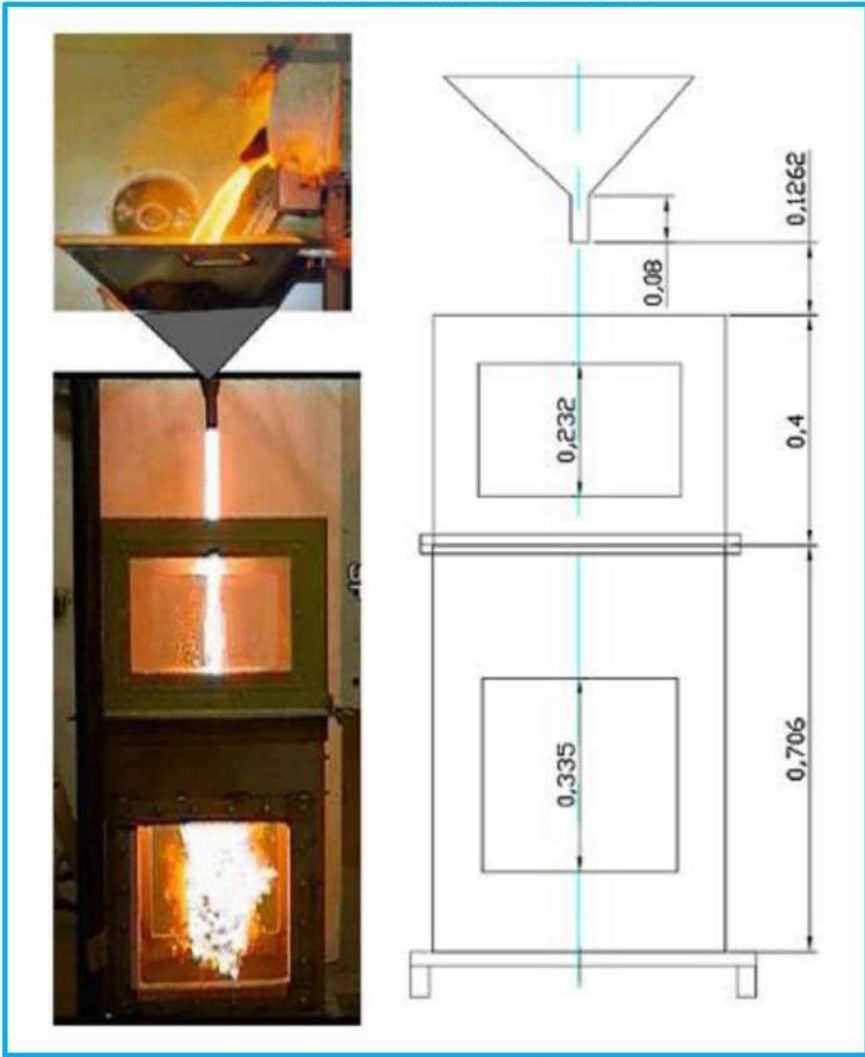
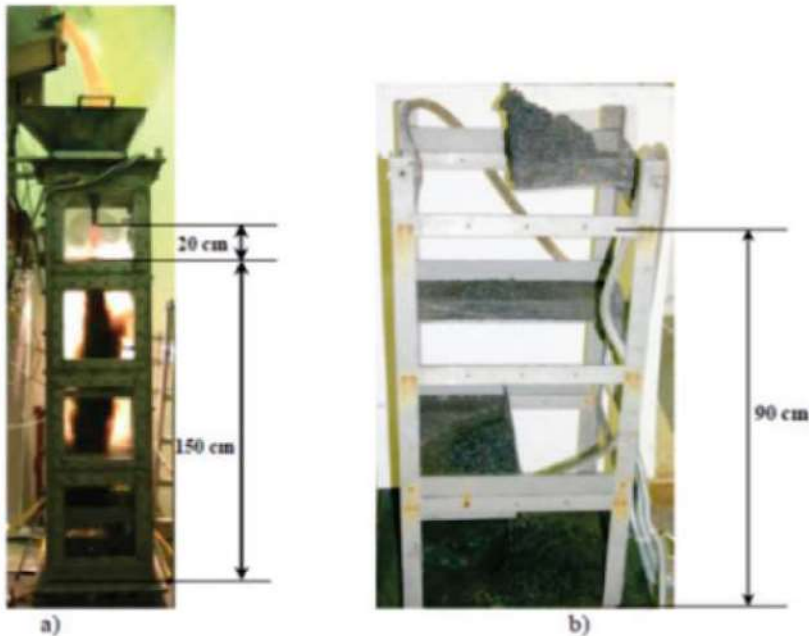
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																								
<p data-bbox="376 647 815 675">【参考のため女川の第5部添付3付録4から抜粋】</p>  <p data-bbox="255 1398 936 1422">付図4-10 セルフレベリング実験におけるデブリベッドの均一化の概念図 [22]</p>	<p data-bbox="1317 169 1688 196">表 3.1-7 セルフレベリング実験条件一覧</p> <table border="1" data-bbox="1070 213 1921 501"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Container ID, cm</th> <th>Bed Material</th> <th>Generator, kw</th> <th>Initial Height at Center, cm</th> <th>Initial Height at Wall, cm</th> <th>Final Height at Center, cm</th> <th>Final Height at Wall, cm</th> <th>Boiling Heat Flux, cal/sec·cm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>11.4</td> <td>590-840 μ SS</td> <td>15</td> <td>6.4</td> <td>3.8</td> <td>5.1</td> <td>4.4</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>11.4</td> <td>210-1000 + μ Cu</td> <td>15</td> <td>7.6</td> <td>4.4</td> <td>6.0</td> <td>5.7</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>3*</td> <td>11.4</td> <td>50-50 vol.% UO₂-SS</td> <td>15</td> <td>7.6</td> <td>5.1</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>16.2</td> <td>210-1000 + μ Cu</td> <td>15</td> <td>9.2</td> <td>6.0</td> <td>7.6</td> <td>7.4</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>29.2</td> <td>210-1000 + μ Cu</td> <td>100</td> <td>12.1</td> <td>3.2</td> <td>7.6</td> <td>5.7</td> <td>0.79</td> </tr> <tr> <td>6**</td> <td>29.2</td> <td>50-50 vol.% UO₂-SS</td> <td>100</td> <td>8.9</td> <td>3.8</td> <td>6.4</td> <td>6.2</td> <td>1.20</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1124 517 1684 600">〔註〕 傾斜角の変化（初期） （2～3分後）</p> <table border="1" data-bbox="1460 517 1684 600"> <thead> <tr> <th></th> <th>Run 3^(*)</th> <th>Run 5^(**)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>傾斜角の変化（初期）</td> <td>23.7°</td> <td>19.3°</td> </tr> <tr> <td>（2～3分後）</td> <td>0.0°</td> <td>0.8°</td> </tr> </tbody> </table>  <p data-bbox="1263 1362 1778 1386">図 3.1-29 セルフレベリング実験における粒子ベッド概念</p>	Run	Container ID, cm	Bed Material	Generator, kw	Initial Height at Center, cm	Initial Height at Wall, cm	Final Height at Center, cm	Final Height at Wall, cm	Boiling Heat Flux, cal/sec·cm ²	1	11.4	590-840 μ SS	15	6.4	3.8	5.1	4.4	...	2	11.4	210-1000 + μ Cu	15	7.6	4.4	6.0	5.7	...	3*	11.4	50-50 vol.% UO ₂ -SS	15	7.6	5.1	6.0	6.0	0.55	4	16.2	210-1000 + μ Cu	15	9.2	6.0	7.6	7.4	...	5	29.2	210-1000 + μ Cu	100	12.1	3.2	7.6	5.7	0.79	6**	29.2	50-50 vol.% UO ₂ -SS	100	8.9	3.8	6.4	6.2	1.20		Run 3 ^(*)	Run 5 ^(**)	傾斜角の変化（初期）	23.7°	19.3°	（2～3分後）	0.0°	0.8°	
Run	Container ID, cm	Bed Material	Generator, kw	Initial Height at Center, cm	Initial Height at Wall, cm	Final Height at Center, cm	Final Height at Wall, cm	Boiling Heat Flux, cal/sec·cm ²																																																																		
1	11.4	590-840 μ SS	15	6.4	3.8	5.1	4.4	...																																																																		
2	11.4	210-1000 + μ Cu	15	7.6	4.4	6.0	5.7	...																																																																		
3*	11.4	50-50 vol.% UO ₂ -SS	15	7.6	5.1	6.0	6.0	0.55																																																																		
4	16.2	210-1000 + μ Cu	15	9.2	6.0	7.6	7.4	...																																																																		
5	29.2	210-1000 + μ Cu	100	12.1	3.2	7.6	5.7	0.79																																																																		
6**	29.2	50-50 vol.% UO ₂ -SS	100	8.9	3.8	6.4	6.2	1.20																																																																		
	Run 3 ^(*)	Run 5 ^(**)																																																																								
傾斜角の変化（初期）	23.7°	19.3°																																																																								
（2～3分後）	0.0°	0.8°																																																																								

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表




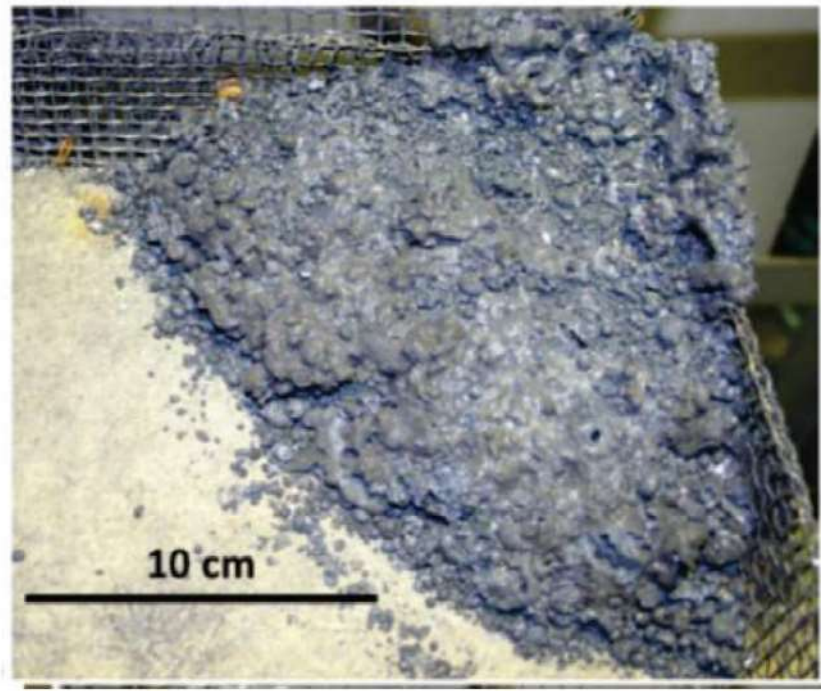
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 236 817 263">【参考のため女川の第5部添付3付録4から抜粋】</p>  <p data-bbox="459 1332 728 1356">付図 3-5 DEFOR-E 実験装置^[16]</p>	 <p data-bbox="1254 917 1758 941">図 3.1-30 DEFOR 試験装置全体及び溶融炉心キャッチャー</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																																																																																																			
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録4から抜粋】</p>	<p>表 3.1-8 DEFOR-A 実験の実験条件</p>																																																																																																																																																																				
<p>付表 3-3 DEFOR-E 実験マトリックス^[16]</p> <p>Experimental conditions and the measured porosity in the DEFOR-E tests.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Parameter/property</th> <th colspan="7">No.</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Melt volume, l</td> <td>3.5</td> <td>7.0</td> <td>3.5</td> <td>3.5</td> <td>3.5</td> <td>3.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>Melt initial temp., °C</td> <td>1200</td> <td>1300</td> <td>1350</td> <td>1350</td> <td>1200</td> <td>1250</td> <td>1280</td> </tr> <tr> <td>Coolant volume, l</td> <td>163</td> <td>163</td> <td>163</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>163</td> <td>163</td> </tr> <tr> <td>Coolant initial temp., °C</td> <td>13</td> <td>11</td> <td>85</td> <td>15</td> <td>83</td> <td>88</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Water pool depth, cm</td> <td>65</td> <td>65</td> <td>65</td> <td>40</td> <td>40</td> <td>65</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Measured porosity, %</td> <td>60</td> <td>77</td> <td>74</td> <td>56</td> <td>50</td> <td>68</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>	Parameter/property	No.							1	2	3	4	5	6	7	Melt volume, l	3.5	7.0	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	Melt initial temp., °C	1200	1300	1350	1350	1200	1250	1280	Coolant volume, l	163	163	163	100	100	163	163	Coolant initial temp., °C	13	11	85	15	83	88	7	Water pool depth, cm	65	65	65	40	40	65	65	Measured porosity, %	60	77	74	56	50	68	65	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>単位</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>A6</th> <th>A7</th> <th>A8</th> <th>A9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶融物温度</td> <td>K</td> <td>1,253</td> <td>1,246</td> <td>1,221</td> <td>1,245</td> <td>1,279</td> <td>1,349</td> <td>1,255</td> <td>1,343</td> </tr> <tr> <td>溶融物過熱度</td> <td>K</td> <td>110</td> <td>103</td> <td>78</td> <td>102</td> <td>136</td> <td>206</td> <td>112</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>ジェット初期径</td> <td>mm</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>25</td> <td>25</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>溶融物の注入時間</td> <td>s</td> <td>38</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>38</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>溶融物注入高さ</td> <td>m</td> <td>1.7</td> <td>1.7</td> <td>1.7</td> <td>1.7</td> <td>1.7</td> <td>1.62</td> <td>1.62</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>水面までの距離</td> <td>m</td> <td>0.18</td> <td>0.18</td> <td>0.2</td> <td>0.18</td> <td>0.18</td> <td>0.2</td> <td>0.2</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>水プール深さ</td> <td>m</td> <td>1.52</td> <td>1.52</td> <td>1.5</td> <td>1.52</td> <td>1.52</td> <td>1.42</td> <td>1.42</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td>水プール初期温度</td> <td>K</td> <td>346</td> <td>367</td> <td>346</td> <td>364</td> <td>346</td> <td>356</td> <td>355</td> <td>355</td> </tr> <tr> <td>水プールサブクール度</td> <td>K</td> <td>27</td> <td>7</td> <td>27</td> <td>9</td> <td>27</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>		単位	A1	A2	A4	A5	A6	A7	A8	A9	溶融物温度	K	1,253	1,246	1,221	1,245	1,279	1,349	1,255	1,343	溶融物過熱度	K	110	103	78	102	136	206	112	200	ジェット初期径	mm	10	20	20	10	12	25	25	20	溶融物の注入時間	s	38	11	11	38	20	10	10	11	溶融物注入高さ	m	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.62	1.62	1.7	水面までの距離	m	0.18	0.18	0.2	0.18	0.18	0.2	0.2	0.18	水プール深さ	m	1.52	1.52	1.5	1.52	1.52	1.42	1.42	1.52	水プール初期温度	K	346	367	346	364	346	356	355	355	水プールサブクール度	K	27	7	27	9	27	17	18	18	
Parameter/property		No.																																																																																																																																																																			
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																														
Melt volume, l	3.5	7.0	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5																																																																																																																																																														
Melt initial temp., °C	1200	1300	1350	1350	1200	1250	1280																																																																																																																																																														
Coolant volume, l	163	163	163	100	100	163	163																																																																																																																																																														
Coolant initial temp., °C	13	11	85	15	83	88	7																																																																																																																																																														
Water pool depth, cm	65	65	65	40	40	65	65																																																																																																																																																														
Measured porosity, %	60	77	74	56	50	68	65																																																																																																																																																														
	単位	A1	A2	A4	A5	A6	A7	A8	A9																																																																																																																																																												
溶融物温度	K	1,253	1,246	1,221	1,245	1,279	1,349	1,255	1,343																																																																																																																																																												
溶融物過熱度	K	110	103	78	102	136	206	112	200																																																																																																																																																												
ジェット初期径	mm	10	20	20	10	12	25	25	20																																																																																																																																																												
溶融物の注入時間	s	38	11	11	38	20	10	10	11																																																																																																																																																												
溶融物注入高さ	m	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.62	1.62	1.7																																																																																																																																																												
水面までの距離	m	0.18	0.18	0.2	0.18	0.18	0.2	0.2	0.18																																																																																																																																																												
水プール深さ	m	1.52	1.52	1.5	1.52	1.52	1.42	1.42	1.52																																																																																																																																																												
水プール初期温度	K	346	367	346	364	346	356	355	355																																																																																																																																																												
水プールサブクール度	K	27	7	27	9	27	17	18	18																																																																																																																																																												
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>DEFOR- E1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>DEFOR- E4</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>DEFOR- E7</p> </div> <p>付図 3-6 DEFOR-E 実験後のデブリ状態^[16]</p>	 <p>10 cm</p>																																																																																																																																																																				
	<p>図 3.1-31 DEFOR-A8 キャッチャー 1 のケーキ状溶融炉心</p>																																																																																																																																																																				

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

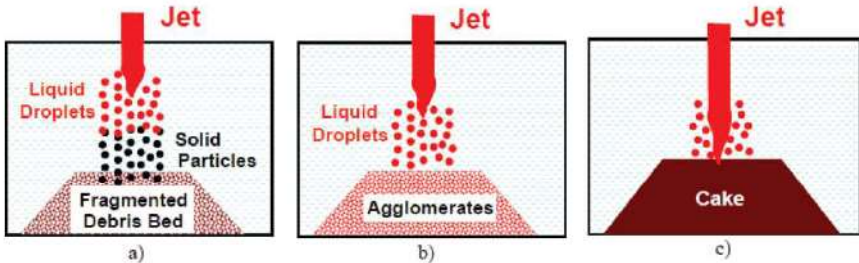
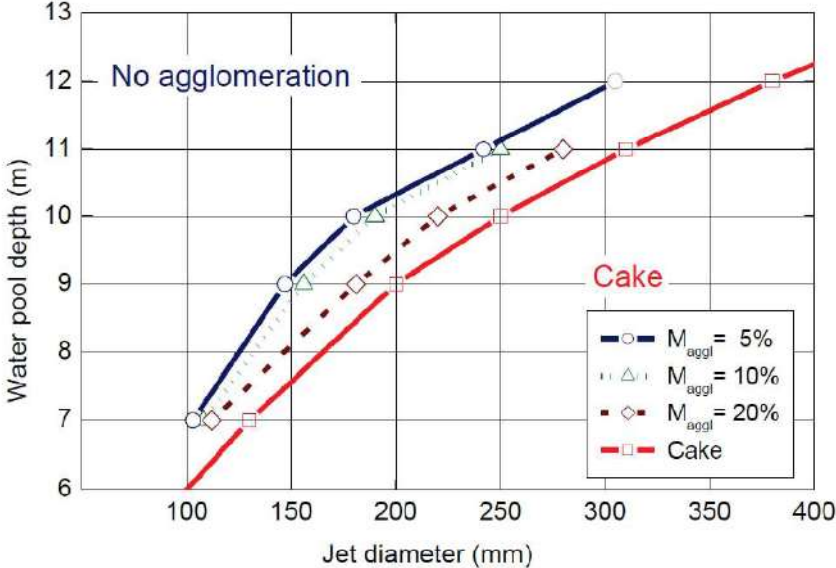
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 3.1-32 DEFOR-A 実験結果

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p data-bbox="1294 512 1742 536">図 3.1-33 DEFOR 実験における溶融物凝集の概念図</p>  <p data-bbox="1211 1262 1832 1286">図 3.1-34 スウェーデン王立工科大学 (KTH) による凝集モードマップ</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

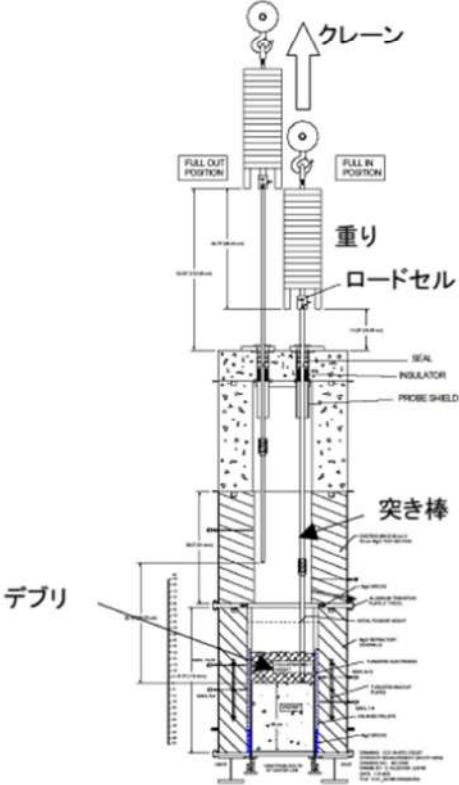
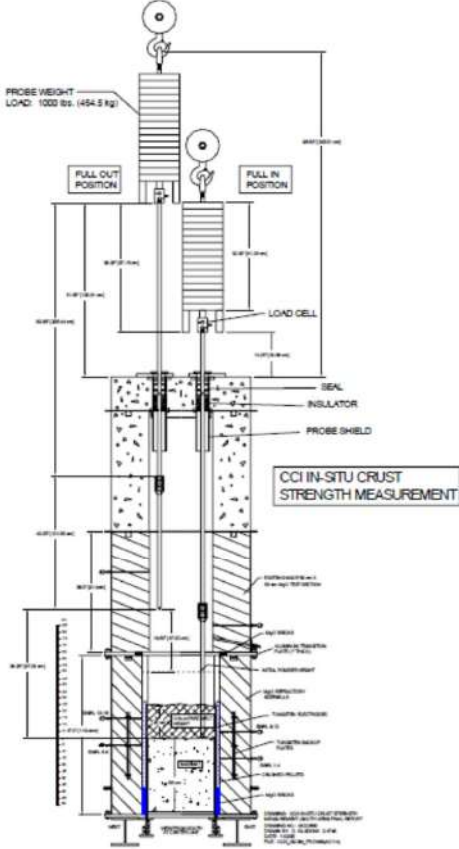
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																																																																																																																			
<p style="text-align: center;">【参考のため掲載順を入替え】</p>	<p style="text-align: center;">表 3.1-9 CCI 実験の主要実験条件</p>																																																																																																																																																																																				
<p style="text-align: center;">付表 2-3 CCI 実験（二次元コンクリート侵食実験）条件一覧^[12]</p> <table border="1" data-bbox="152 280 1041 842"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Parameter</th> <th colspan="3">Specification for Test:</th> </tr> <tr> <th>CCI-1</th> <th>CCI-2</th> <th>CCI-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corium</td> <td>PWR + 8 wt% SIL</td> <td>PWR + 8 wt% LCS</td> <td>PWR + 15 wt% SIL</td> </tr> <tr> <td>Concrete type^a</td> <td>SIL (US-type)</td> <td>LCS</td> <td>SIL (EU-type)</td> </tr> <tr> <td>Basemat cross-section</td> <td>50 cm x 50 cm</td> <td>50 cm x 50 cm</td> <td>50 cm x 50 cm</td> </tr> <tr> <td>Initial melt mass (depth)</td> <td>400 kg (25 cm)</td> <td>400 kg (25 cm)</td> <td>375 kg (25 cm)</td> </tr> <tr> <td>Test section sidewall construction</td> <td>Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert</td> <td>Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert</td> <td>Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert</td> </tr> <tr> <td>Lateral/Axial ablation limit</td> <td>35/35 cm</td> <td>35/35 cm</td> <td>35/35 cm</td> </tr> <tr> <td>System pressure</td> <td>Atmospheric</td> <td>Atmospheric</td> <td>Atmospheric</td> </tr> <tr> <td>Melt formation tech.</td> <td>Chemical reaction (~30 s)</td> <td>Chemical reaction (~30 s)</td> <td>Chemical reaction (~30 s)</td> </tr> <tr> <td>Initial melt temperature</td> <td>1950 °C</td> <td>1880 °C</td> <td>1950 °C</td> </tr> <tr> <td>Melt heating technique</td> <td>DEH</td> <td>DEH</td> <td>DEH</td> </tr> <tr> <td>Power supply operation prior to water addition</td> <td>Constant @ 150 kW</td> <td>Constant @ 120 kW</td> <td>Constant @ 120 kW</td> </tr> <tr> <td>Criteria for water addition</td> <td>1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm</td> <td>1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm</td> <td>1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm</td> </tr> <tr> <td>Inlet water flowrate/temp.</td> <td>2 lps/20 °C</td> <td>2 lps/20 °C</td> <td>2 lps/20 °C</td> </tr> <tr> <td>Water depth over melt</td> <td>50 ± 5 cm</td> <td>50 ± 5 cm</td> <td>50 ± 5 cm</td> </tr> <tr> <td>Power supply operation after water addition</td> <td>Constant voltage</td> <td>Constant voltage</td> <td>Constant voltage</td> </tr> <tr> <td>Test termination criteria</td> <td>1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.</td> <td>1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.</td> <td>1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.</td> </tr> <tr> <td>Operational Summary</td> <td>Successful: non-symmetrical ablation behavior</td> <td>Successful: symmetrical ablation behavior</td> <td>Successful: symmetrical ablation behavior</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aSIL denotes siliceous concrete, LCS denotes Limestone/Common Sand concrete.</p>	Parameter	Specification for Test:			CCI-1	CCI-2	CCI-3	Corium	PWR + 8 wt% SIL	PWR + 8 wt% LCS	PWR + 15 wt% SIL	Concrete type ^a	SIL (US-type)	LCS	SIL (EU-type)	Basemat cross-section	50 cm x 50 cm	50 cm x 50 cm	50 cm x 50 cm	Initial melt mass (depth)	400 kg (25 cm)	400 kg (25 cm)	375 kg (25 cm)	Test section sidewall construction	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert	Lateral/Axial ablation limit	35/35 cm	35/35 cm	35/35 cm	System pressure	Atmospheric	Atmospheric	Atmospheric	Melt formation tech.	Chemical reaction (~30 s)	Chemical reaction (~30 s)	Chemical reaction (~30 s)	Initial melt temperature	1950 °C	1880 °C	1950 °C	Melt heating technique	DEH	DEH	DEH	Power supply operation prior to water addition	Constant @ 150 kW	Constant @ 120 kW	Constant @ 120 kW	Criteria for water addition	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm	Inlet water flowrate/temp.	2 lps/20 °C	2 lps/20 °C	2 lps/20 °C	Water depth over melt	50 ± 5 cm	50 ± 5 cm	50 ± 5 cm	Power supply operation after water addition	Constant voltage	Constant voltage	Constant voltage	Test termination criteria	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.	Operational Summary	Successful: non-symmetrical ablation behavior	Successful: symmetrical ablation behavior	Successful: symmetrical ablation behavior	<table border="1" data-bbox="1086 280 1944 683"> <thead> <tr> <th></th> <th>CCI-1</th> <th>CCI-2</th> <th>CCI-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熔融物</td> <td>PWR+8% concrete</td> <td>同左</td> <td>PWR+15% concrete</td> </tr> <tr> <td>コンクリートタイプ</td> <td>珪岩質系</td> <td>石灰岩系</td> <td>珪岩質系</td> </tr> <tr> <td>熔融物重量</td> <td>400kg</td> <td>同左</td> <td>375kg</td> </tr> <tr> <td>圧力</td> <td>大気圧</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>初期熔融物温度</td> <td>1,950°C</td> <td>1,880°C</td> <td>1,950°C</td> </tr> <tr> <td>直接電気加熱量</td> <td>150kW</td> <td>120kW</td> <td>120kW</td> </tr> <tr> <td>注水条件</td> <td>加熱後 5.5 時間ある いは 30cm 侵食</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>注水量、温度</td> <td>2 liters/秒、20°C</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>注水停止条件</td> <td>50cm ± 5cm</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表 3.1-10 CCI 実験に使用されたコンクリートの組成</p> <table border="1" data-bbox="1238 895 1760 1377"> <thead> <tr> <th>Oxide</th> <th>CCI-1 Wt%</th> <th>CCI-2 Wt%</th> <th>CCI-3 Wt%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al₂O₃</td><td>0.77</td><td>2.49</td><td>3.53</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>8.54</td><td>25.88</td><td>16.79</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>0.79</td><td>1.39</td><td>1.49</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>0.60</td><td>11.47</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>MnO</td><td>0.00</td><td>0.03</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>0.12</td><td>0.55</td><td>0.81</td></tr> <tr><td>SiO₂</td><td>82.48</td><td>21.61</td><td>59.91</td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>0.00</td><td>0.31</td><td>0.66</td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0.051</td><td>0.135</td><td>0.155</td></tr> <tr><td>SO₃</td><td>0.514</td><td>0.505</td><td>0.434</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>0.901</td><td>29.71</td><td>9.80</td></tr> <tr><td>H₂O, Free</td><td>1.808</td><td>3.255</td><td>2.293</td></tr> <tr><td>H₂O, Bound</td><td>1.92</td><td>1.11</td><td>1.40</td></tr> <tr><td>Total</td><td>98.48</td><td>98.47</td><td>98.19</td></tr> </tbody> </table>		CCI-1	CCI-2	CCI-3	熔融物	PWR+8% concrete	同左	PWR+15% concrete	コンクリートタイプ	珪岩質系	石灰岩系	珪岩質系	熔融物重量	400kg	同左	375kg	圧力	大気圧	同左	同左	初期熔融物温度	1,950°C	1,880°C	1,950°C	直接電気加熱量	150kW	120kW	120kW	注水条件	加熱後 5.5 時間ある いは 30cm 侵食	同左	同左	注水量、温度	2 liters/秒、20°C	同左	同左	注水停止条件	50cm ± 5cm	同左	同左	Oxide	CCI-1 Wt%	CCI-2 Wt%	CCI-3 Wt%	Al ₂ O ₃	0.77	2.49	3.53	CaO	8.54	25.88	16.79	Fe ₂ O ₃	0.79	1.39	1.49	MgO	0.60	11.47	0.85	MnO	0.00	0.03	0.04	K ₂ O	0.12	0.55	0.81	SiO ₂	82.48	21.61	59.91	Na ₂ O	0.00	0.31	0.66	SrO	0.00	0.00	0.04	TiO ₂	0.051	0.135	0.155	SO ₃	0.514	0.505	0.434	CO ₂	0.901	29.71	9.80	H ₂ O, Free	1.808	3.255	2.293	H ₂ O, Bound	1.92	1.11	1.40	Total	98.48	98.47	98.19	
Parameter		Specification for Test:																																																																																																																																																																																			
	CCI-1	CCI-2	CCI-3																																																																																																																																																																																		
Corium	PWR + 8 wt% SIL	PWR + 8 wt% LCS	PWR + 15 wt% SIL																																																																																																																																																																																		
Concrete type ^a	SIL (US-type)	LCS	SIL (EU-type)																																																																																																																																																																																		
Basemat cross-section	50 cm x 50 cm	50 cm x 50 cm	50 cm x 50 cm																																																																																																																																																																																		
Initial melt mass (depth)	400 kg (25 cm)	400 kg (25 cm)	375 kg (25 cm)																																																																																																																																																																																		
Test section sidewall construction	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert	Nonelectrode walls: concrete Electrode walls: Inert																																																																																																																																																																																		
Lateral/Axial ablation limit	35/35 cm	35/35 cm	35/35 cm																																																																																																																																																																																		
System pressure	Atmospheric	Atmospheric	Atmospheric																																																																																																																																																																																		
Melt formation tech.	Chemical reaction (~30 s)	Chemical reaction (~30 s)	Chemical reaction (~30 s)																																																																																																																																																																																		
Initial melt temperature	1950 °C	1880 °C	1950 °C																																																																																																																																																																																		
Melt heating technique	DEH	DEH	DEH																																																																																																																																																																																		
Power supply operation prior to water addition	Constant @ 150 kW	Constant @ 120 kW	Constant @ 120 kW																																																																																																																																																																																		
Criteria for water addition	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm	1) 5.5 hours of operation with DEH input, or 2) lateral/axial ablation reaches 30 cm																																																																																																																																																																																		
Inlet water flowrate/temp.	2 lps/20 °C	2 lps/20 °C	2 lps/20 °C																																																																																																																																																																																		
Water depth over melt	50 ± 5 cm	50 ± 5 cm	50 ± 5 cm																																																																																																																																																																																		
Power supply operation after water addition	Constant voltage	Constant voltage	Constant voltage																																																																																																																																																																																		
Test termination criteria	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.	1) Melt temperature falls below concrete solidus, 2) ablation is arrested, or 3) 35 cm ablation limit is reached.																																																																																																																																																																																		
Operational Summary	Successful: non-symmetrical ablation behavior	Successful: symmetrical ablation behavior	Successful: symmetrical ablation behavior																																																																																																																																																																																		
	CCI-1	CCI-2	CCI-3																																																																																																																																																																																		
熔融物	PWR+8% concrete	同左	PWR+15% concrete																																																																																																																																																																																		
コンクリートタイプ	珪岩質系	石灰岩系	珪岩質系																																																																																																																																																																																		
熔融物重量	400kg	同左	375kg																																																																																																																																																																																		
圧力	大気圧	同左	同左																																																																																																																																																																																		
初期熔融物温度	1,950°C	1,880°C	1,950°C																																																																																																																																																																																		
直接電気加熱量	150kW	120kW	120kW																																																																																																																																																																																		
注水条件	加熱後 5.5 時間ある いは 30cm 侵食	同左	同左																																																																																																																																																																																		
注水量、温度	2 liters/秒、20°C	同左	同左																																																																																																																																																																																		
注水停止条件	50cm ± 5cm	同左	同左																																																																																																																																																																																		
Oxide	CCI-1 Wt%	CCI-2 Wt%	CCI-3 Wt%																																																																																																																																																																																		
Al ₂ O ₃	0.77	2.49	3.53																																																																																																																																																																																		
CaO	8.54	25.88	16.79																																																																																																																																																																																		
Fe ₂ O ₃	0.79	1.39	1.49																																																																																																																																																																																		
MgO	0.60	11.47	0.85																																																																																																																																																																																		
MnO	0.00	0.03	0.04																																																																																																																																																																																		
K ₂ O	0.12	0.55	0.81																																																																																																																																																																																		
SiO ₂	82.48	21.61	59.91																																																																																																																																																																																		
Na ₂ O	0.00	0.31	0.66																																																																																																																																																																																		
SrO	0.00	0.00	0.04																																																																																																																																																																																		
TiO ₂	0.051	0.135	0.155																																																																																																																																																																																		
SO ₃	0.514	0.505	0.434																																																																																																																																																																																		
CO ₂	0.901	29.71	9.80																																																																																																																																																																																		
H ₂ O, Free	1.808	3.255	2.293																																																																																																																																																																																		
H ₂ O, Bound	1.92	1.11	1.40																																																																																																																																																																																		
Total	98.48	98.47	98.19																																																																																																																																																																																		
<p style="text-align: center;">付表 2-4 CCI 実験に使用されたコンクリートの組成^[12]</p> <table border="1" data-bbox="331 927 853 1409"> <thead> <tr> <th>Oxide</th> <th>CCI-1 Wt%</th> <th>CCI-2 Wt%</th> <th>CCI-3 Wt%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al₂O₃</td><td>0.77</td><td>2.49</td><td>3.53</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>8.54</td><td>25.88</td><td>16.79</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>0.79</td><td>1.39</td><td>1.49</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>0.60</td><td>11.47</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>MnO</td><td>0.00</td><td>0.03</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>0.12</td><td>0.55</td><td>0.81</td></tr> <tr><td>SiO₂</td><td>82.48</td><td>21.61</td><td>59.91</td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>0.00</td><td>0.31</td><td>0.66</td></tr> <tr><td>SrO</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>0.051</td><td>0.135</td><td>0.155</td></tr> <tr><td>SO₃</td><td>0.514</td><td>0.505</td><td>0.434</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>0.901</td><td>29.71</td><td>9.80</td></tr> <tr><td>H₂O, Free</td><td>1.808</td><td>3.255</td><td>2.293</td></tr> <tr><td>H₂O, Bound</td><td>1.92</td><td>1.11</td><td>1.40</td></tr> <tr><td>Total</td><td>98.48</td><td>98.47</td><td>98.19</td></tr> </tbody> </table>	Oxide	CCI-1 Wt%	CCI-2 Wt%	CCI-3 Wt%	Al ₂ O ₃	0.77	2.49	3.53	CaO	8.54	25.88	16.79	Fe ₂ O ₃	0.79	1.39	1.49	MgO	0.60	11.47	0.85	MnO	0.00	0.03	0.04	K ₂ O	0.12	0.55	0.81	SiO ₂	82.48	21.61	59.91	Na ₂ O	0.00	0.31	0.66	SrO	0.00	0.00	0.04	TiO ₂	0.051	0.135	0.155	SO ₃	0.514	0.505	0.434	CO ₂	0.901	29.71	9.80	H ₂ O, Free	1.808	3.255	2.293	H ₂ O, Bound	1.92	1.11	1.40	Total	98.48	98.47	98.19																																																																																																																					
Oxide	CCI-1 Wt%	CCI-2 Wt%	CCI-3 Wt%																																																																																																																																																																																		
Al ₂ O ₃	0.77	2.49	3.53																																																																																																																																																																																		
CaO	8.54	25.88	16.79																																																																																																																																																																																		
Fe ₂ O ₃	0.79	1.39	1.49																																																																																																																																																																																		
MgO	0.60	11.47	0.85																																																																																																																																																																																		
MnO	0.00	0.03	0.04																																																																																																																																																																																		
K ₂ O	0.12	0.55	0.81																																																																																																																																																																																		
SiO ₂	82.48	21.61	59.91																																																																																																																																																																																		
Na ₂ O	0.00	0.31	0.66																																																																																																																																																																																		
SrO	0.00	0.00	0.04																																																																																																																																																																																		
TiO ₂	0.051	0.135	0.155																																																																																																																																																																																		
SO ₃	0.514	0.505	0.434																																																																																																																																																																																		
CO ₂	0.901	29.71	9.80																																																																																																																																																																																		
H ₂ O, Free	1.808	3.255	2.293																																																																																																																																																																																		
H ₂ O, Bound	1.92	1.11	1.40																																																																																																																																																																																		
Total	98.48	98.47	98.19																																																																																																																																																																																		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

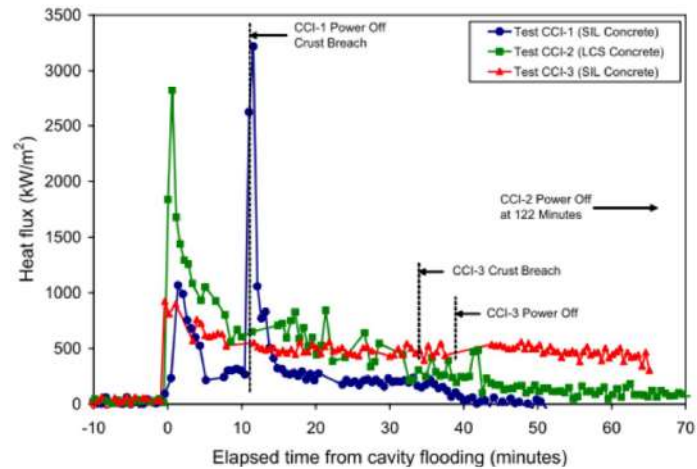
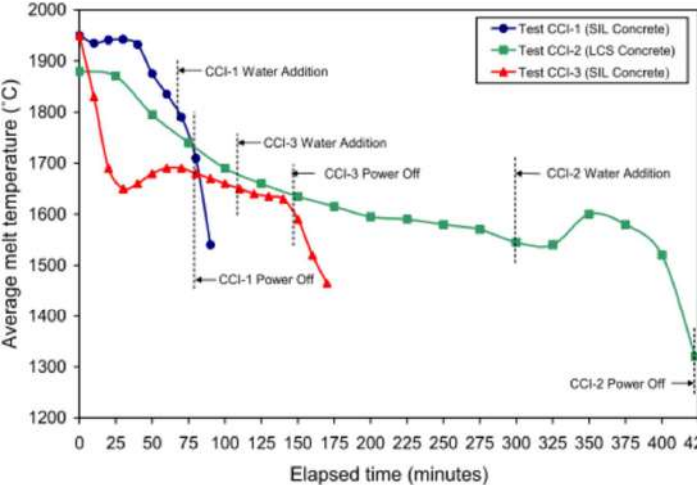
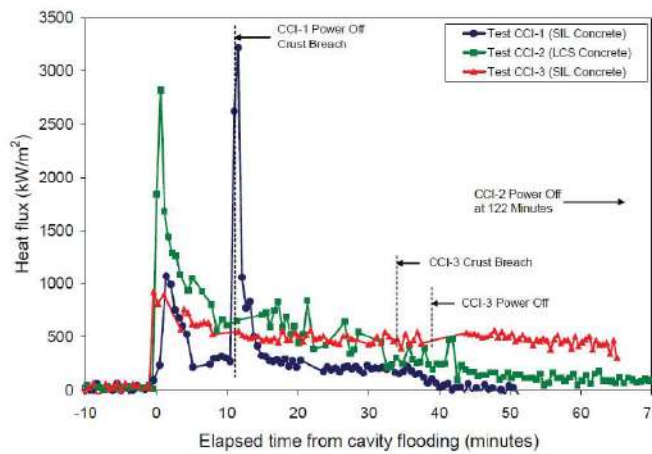
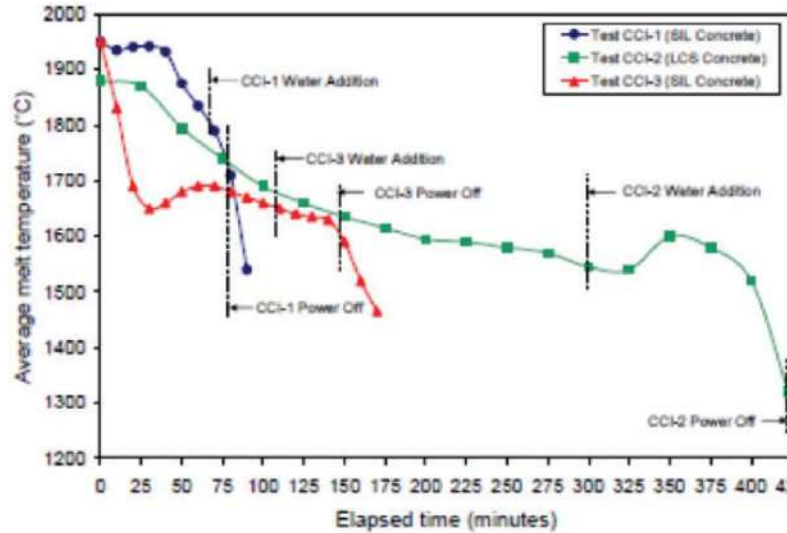
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由																																																														
<p>【参考のため掲載順を入替え】</p> <p>付表 2-5 C C I 実験の側壁方向/床方向の侵食率と熱流束の推定値 ^[12]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Test</th> <th rowspan="2">Concr. Type</th> <th colspan="2">Lateral Ablation</th> <th colspan="2">Axial Ablation</th> <th rowspan="2">Lateral -Axial Heat Flux Ratio</th> <th rowspan="2">Data Points Utilized for Ablation Rate Estimates</th> </tr> <tr> <th>Ablation Rate (cm/hr)</th> <th>Heat Flux (kW/m²)</th> <th>Ablation Rate (cm/hr)</th> <th>Heat Flux (kW/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">CCI-1</td> <td rowspan="2">SIL (US)</td> <td>N: 39.1</td> <td>395</td> <td rowspan="2">26.1</td> <td rowspan="2">265</td> <td rowspan="2">-^a</td> <td rowspan="2">N Lateral: (19.1 cm, 51 min) (29.2 cm, 66 min) S Lateral: (7.6 cm, 54 min) (5.1 cm, 35 min) Axial: (7.6 cm, 53 min) (1.3 cm, 39 min)</td> </tr> <tr> <td>S: 8.4</td> <td>86</td> </tr> <tr> <td>CCI-2</td> <td>LCS</td> <td>4.0</td> <td>58</td> <td>4.0</td> <td>59</td> <td>1.0</td> <td>Lateral: (19.1 cm, 148 min) (29.2 cm, 302 min) Axial: (15.2 cm, 107 min) (24.1 cm, 240 min)</td> </tr> <tr> <td>CCI-3</td> <td>SIL (EU)</td> <td>10.0</td> <td>97</td> <td>2.5</td> <td>25</td> <td>4.0</td> <td>Lateral: (19.1 cm, 47 min) (29.2 cm, 107 min) Axial: (2.5 cm, 117 min) (5.1 cm, 178 min)</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aHeat flux ratio not evaluated for this test due to large asymmetry in lateral cavity erosion.</p>		Test	Concr. Type		Lateral Ablation		Axial Ablation		Lateral -Axial Heat Flux Ratio	Data Points Utilized for Ablation Rate Estimates	Ablation Rate (cm/hr)	Heat Flux (kW/m ²)	Ablation Rate (cm/hr)	Heat Flux (kW/m ²)	CCI-1	SIL (US)	N: 39.1	395	26.1	265	- ^a	N Lateral: (19.1 cm, 51 min) (29.2 cm, 66 min) S Lateral: (7.6 cm, 54 min) (5.1 cm, 35 min) Axial: (7.6 cm, 53 min) (1.3 cm, 39 min)	S: 8.4	86	CCI-2	LCS	4.0	58	4.0	59	1.0	Lateral: (19.1 cm, 148 min) (29.2 cm, 302 min) Axial: (15.2 cm, 107 min) (24.1 cm, 240 min)	CCI-3	SIL (EU)	10.0	97	2.5	25	4.0	Lateral: (19.1 cm, 47 min) (29.2 cm, 107 min) Axial: (2.5 cm, 117 min) (5.1 cm, 178 min)	<p>表 3. 1-11 CCI 実験の 15-25 分における水への熱流束</p> <p>Table 3-7. Debris-Water Heat Fluxes for CCI Tests Averaged Over the Time Interval 15-25 Minutes after Cavity Flooding.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Test</th> <th>Concrete Type</th> <th>Heat Flux (kW/m²)</th> <th>Concrete Gas Content (Wt %)</th> <th>Crust Concrete Content (Wt %)</th> <th>Note(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CCI-1</td> <td>SIL (US)</td> <td>250</td> <td>4.6</td> <td>22.3</td> <td>Assumed heat transfer surface area: 0.25 m² (PTE indicates that water did not penetrate sidewall crusts to cool the top surface of the corium interacting with the sidewalls).</td> </tr> <tr> <td>CCI-2</td> <td>LCS</td> <td>650</td> <td>34.1</td> <td>69.4</td> <td>Assumed surface heat transfer area: 0.50 m² (PTE indicates that water was able to contact the entire melt upper surface area). Water ingress at the interface between the corium and concrete walls also contributed to cooling, but this effect has not been separated from the overall heat flux estimate.</td> </tr> <tr> <td>CCI-3</td> <td>SIL (EU)</td> <td>500</td> <td>13.5</td> <td>47.8</td> <td>See Note for Test CCI-1.</td> </tr> </tbody> </table>		Test	Concrete Type	Heat Flux (kW/m ²)	Concrete Gas Content (Wt %)	Crust Concrete Content (Wt %)	Note(s)	CCI-1	SIL (US)	250	4.6	22.3	Assumed heat transfer surface area: 0.25 m ² (PTE indicates that water did not penetrate sidewall crusts to cool the top surface of the corium interacting with the sidewalls).	CCI-2	LCS	650	34.1	69.4	Assumed surface heat transfer area: 0.50 m ² (PTE indicates that water was able to contact the entire melt upper surface area). Water ingress at the interface between the corium and concrete walls also contributed to cooling, but this effect has not been separated from the overall heat flux estimate.	CCI-3	SIL (EU)	500	13.5	47.8	See Note for Test CCI-1.
Test	Concr. Type			Lateral Ablation		Axial Ablation		Lateral -Axial Heat Flux Ratio			Data Points Utilized for Ablation Rate Estimates																																																							
		Ablation Rate (cm/hr)	Heat Flux (kW/m ²)	Ablation Rate (cm/hr)	Heat Flux (kW/m ²)																																																													
CCI-1	SIL (US)	N: 39.1	395	26.1	265	- ^a	N Lateral: (19.1 cm, 51 min) (29.2 cm, 66 min) S Lateral: (7.6 cm, 54 min) (5.1 cm, 35 min) Axial: (7.6 cm, 53 min) (1.3 cm, 39 min)																																																											
		S: 8.4	86																																																															
CCI-2	LCS	4.0	58	4.0	59	1.0	Lateral: (19.1 cm, 148 min) (29.2 cm, 302 min) Axial: (15.2 cm, 107 min) (24.1 cm, 240 min)																																																											
CCI-3	SIL (EU)	10.0	97	2.5	25	4.0	Lateral: (19.1 cm, 47 min) (29.2 cm, 107 min) Axial: (2.5 cm, 117 min) (5.1 cm, 178 min)																																																											
Test	Concrete Type	Heat Flux (kW/m ²)	Concrete Gas Content (Wt %)	Crust Concrete Content (Wt %)	Note(s)																																																													
CCI-1	SIL (US)	250	4.6	22.3	Assumed heat transfer surface area: 0.25 m ² (PTE indicates that water did not penetrate sidewall crusts to cool the top surface of the corium interacting with the sidewalls).																																																													
CCI-2	LCS	650	34.1	69.4	Assumed surface heat transfer area: 0.50 m ² (PTE indicates that water was able to contact the entire melt upper surface area). Water ingress at the interface between the corium and concrete walls also contributed to cooling, but this effect has not been separated from the overall heat flux estimate.																																																													
CCI-3	SIL (EU)	500	13.5	47.8	See Note for Test CCI-1.																																																													
<p>付図 2-13 CCI 実験のテスト部 ^[12]</p>		<p>図 3. 1-35 CCI 実験装置</p>																																																																

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="479 236 734 260">【参考のため掲載順を入替え】</p>  <p data-bbox="280 1161 918 1185">付図 2-14 長期二次元侵食実験におけるクラスト破壊/強度測定装置^[4]</p>	 <p data-bbox="1265 1129 1780 1153">図 3.1-36 CCI 実験におけるクラスト破壊/強度測定装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="470 231 739 263">【参考のため掲載順を入替え】</p>  <p data-bbox="336 813 851 845">付図 2-15 C C I 実験におけるデブリー水間の熱流束 [12]</p>  <p data-bbox="358 1396 828 1428">付図 2-16 C C I 実験における溶融物平均温度 [12]</p>	 <p data-bbox="1276 710 1747 742">図 3.1-37 CCI 実験における水-溶融炉心間の熱流束</p>  <p data-bbox="1299 1364 1702 1396">図 3.1-38 CCI 実験の溶融物平均温度変化</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため掲載順を入替え】</p> <p>付図 2-17 CCI 実験における侵食状態の模式図 [12] (a) CCI-1, (b) CCI-2, (c) CCI-3</p>	<p>図 3.1-39 CCI 実験における侵食状態の模式図</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

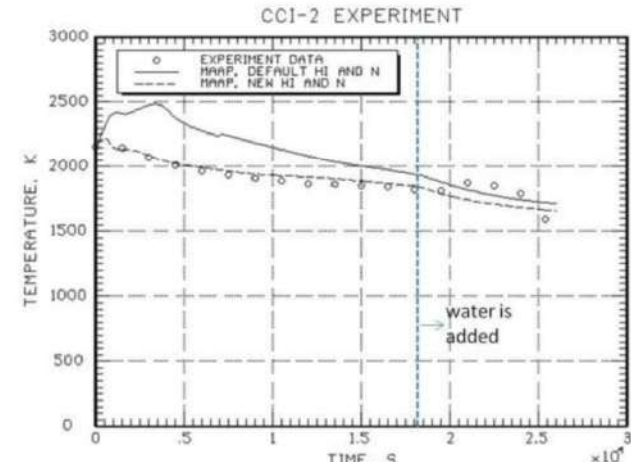
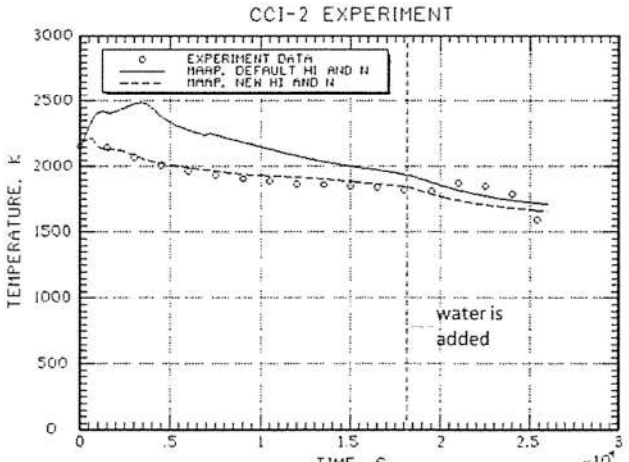
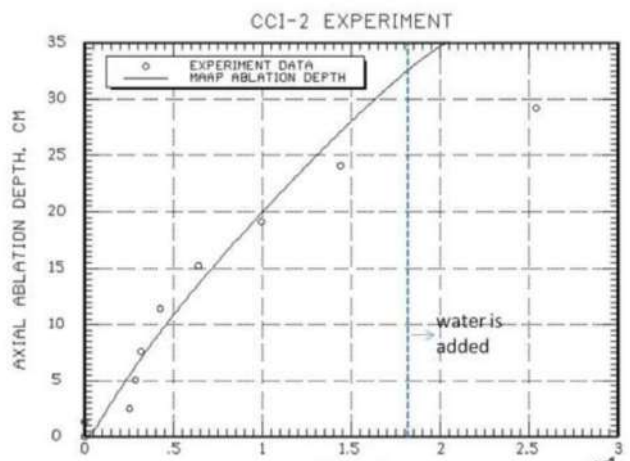
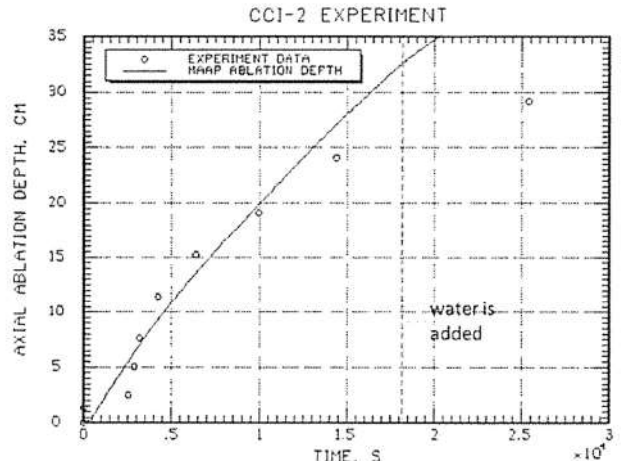
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため掲載順を入替え】</p> <div data-bbox="159 212 562 300" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div> <div data-bbox="181 316 1025 933" style="border: 2px solid black; height: 387px; margin: 10px 0;"></div> <p>付図 2-19 溶融プールからクラストへの対流熱伝達係数</p>	<div data-bbox="1099 355 1912 994" style="border: 2px solid black; height: 400px; margin: 10px 0;"></div> <p>図 3.1-40 溶融プールからクラストへの対流熱伝達係数</p> <div data-bbox="1615 1374 1917 1437" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div>	

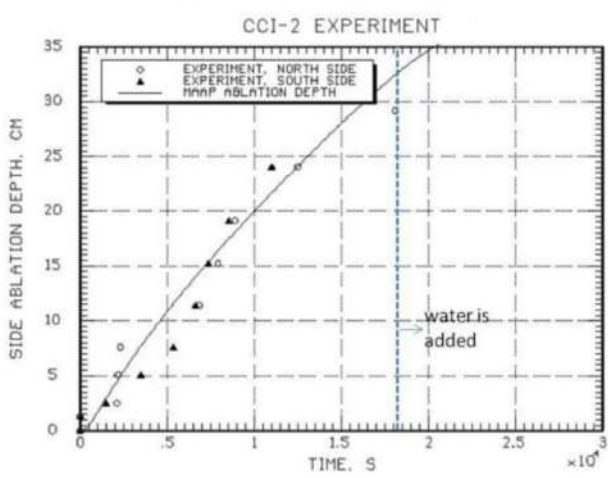
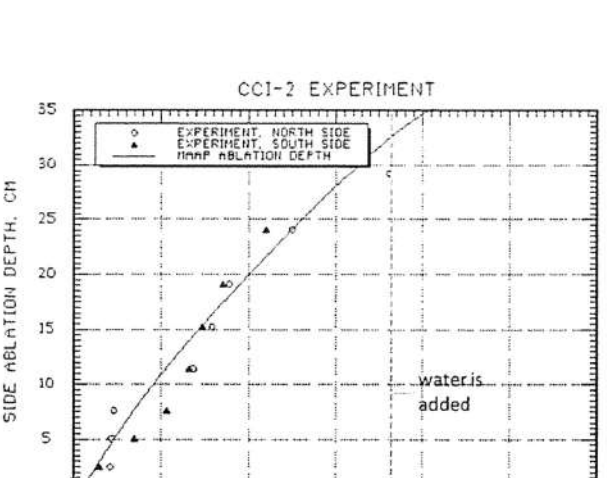
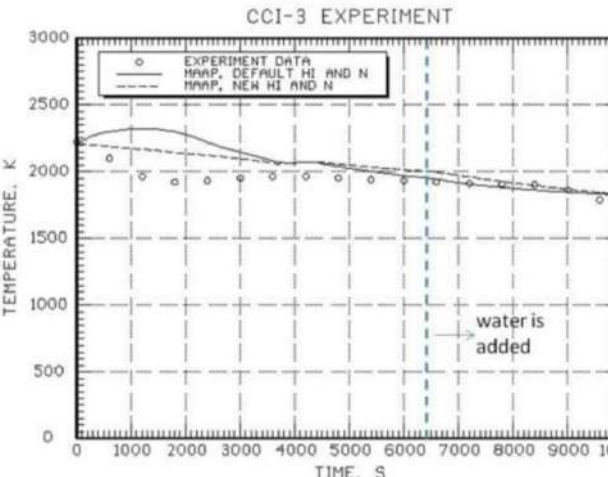
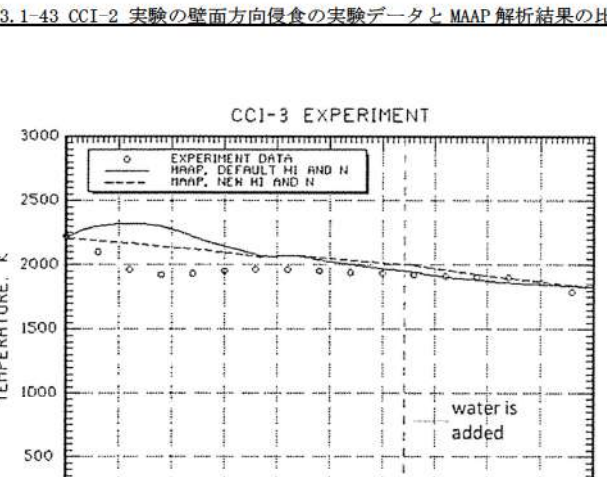
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため掲載順を入替え】</p>		
		
<p>付図 2-20 CCI-2 実験のコリウム温度の実験データとMAAP 解析結果の比較^[36] (MAAP New 熱伝達係数 (破線)：床方向 300W/m²-K, 側壁方向 300W/m²-K, n=0)</p>	<p>図 3.1-41 CCI-2 実験のコリウム温度の実験データとMAAP 解析結果の比較 MAAP New 熱伝達係数 (破線)：床面方向 300W/m²/K, 壁面方向 300W/m²/K, n=0)</p>	
		
<p>付図 2-21 CCI-2 実験の床方向侵食の実験データとMAAP 解析結果の比較^[36]</p>	<p>図 3.1-42 CCI-2 実験の床面方向侵食の実験データとMAAP 解析結果の比較</p>	

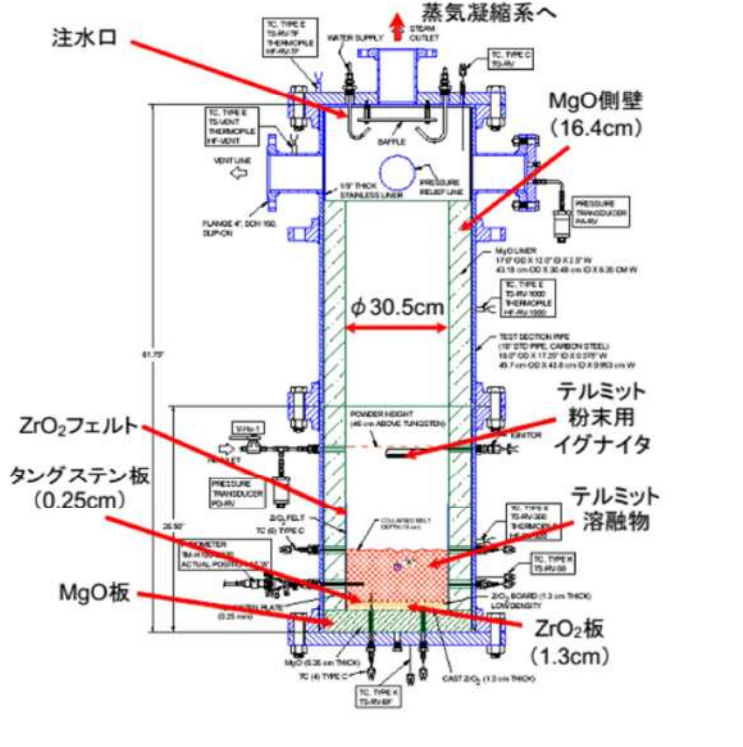
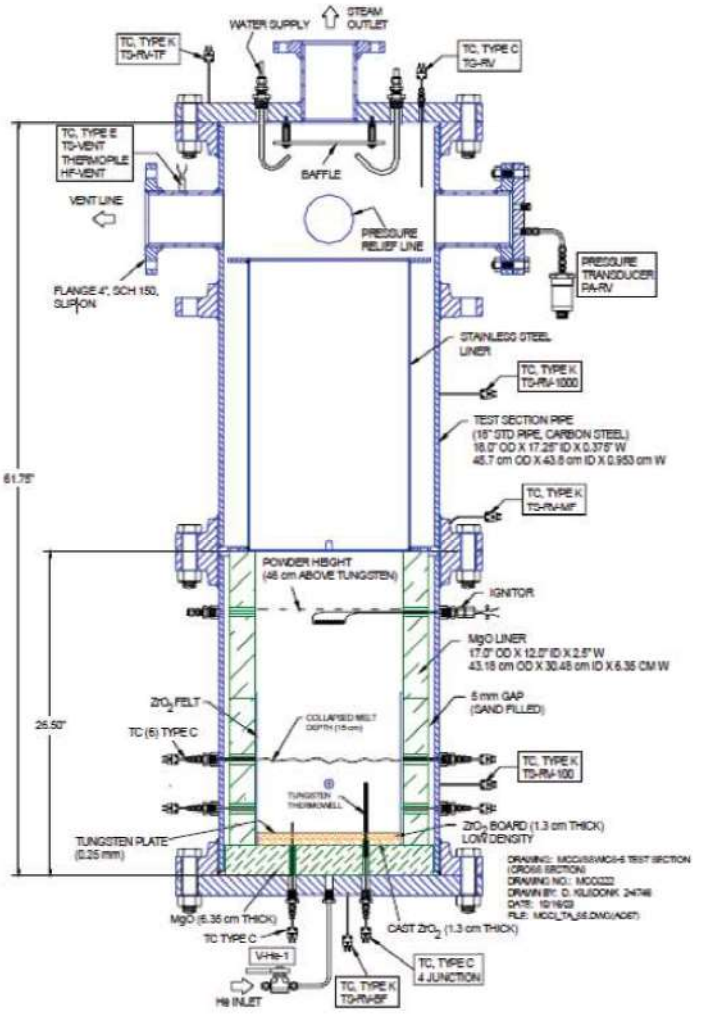
赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため掲載順を入替え】</p> 		
<p>付図 2-22 CCI-2 実験の側壁方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較^[35]</p>	<p>図 3.1-43 CCI-2 実験の壁面方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較</p>	
		
<p>付図 2-23 CCI-3 実験のコリウム温度の実験データとMAAP解析結果の比較^[35]</p>	<p>図 3.1-44 CCI-3 実験のコリウム温度の実験データとMAAP解析結果の比較</p>	
<p>(MAAP New 熱伝達係数 (破線) : 床方向 80W/m²-K, 側壁方向 300W/m²-K, n=0)</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>(MAAP New 熱伝達係数 (破線): 床面方向 80W/m²/K, 壁面方向 300W/m²/K, n=0)</p>	
<p>付図 2-24 CCI-3 実験の床方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較^[36]</p>	<p>図 3.1-45 CCI-3 実験の床面方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較</p>	
<p>付図 2-25 CCI-3 実験の側壁方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較^[36]</p>	<p>図 3.1-46 CCI-3 実験の壁面方向侵食の実験データとMAAP解析結果の比較</p>	

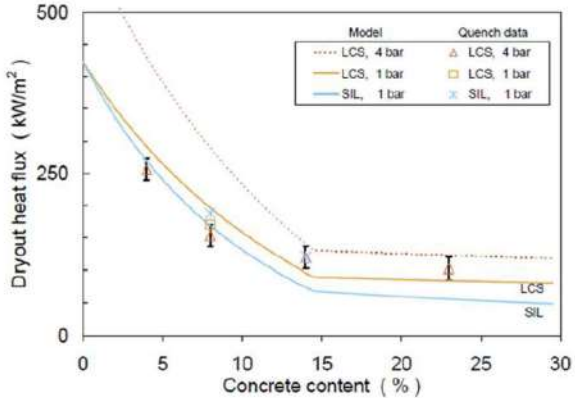
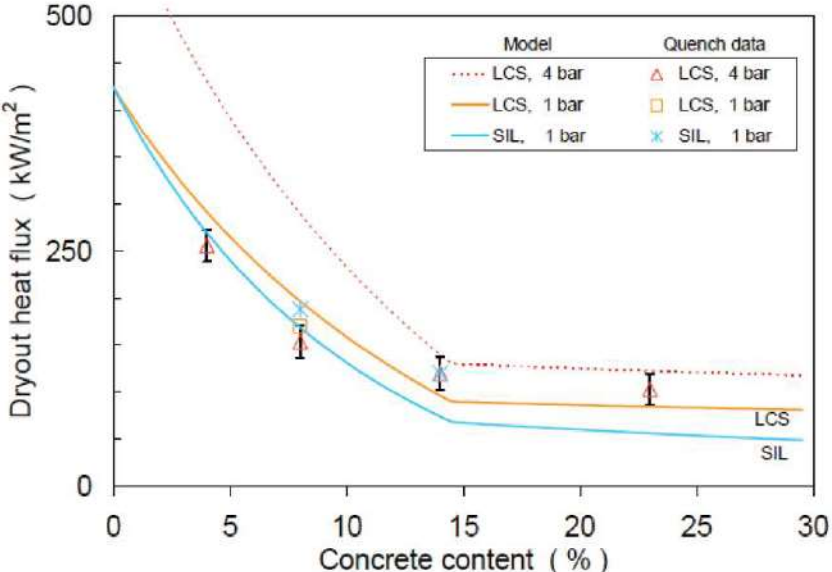
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">【参考のため掲載順を入替え】</p>  <p style="text-align: center;">付図 2-11 小規模浸水・クラスト強度実験 (SSWICS) 装置^[12]</p>	 <p style="text-align: center;">図 3. 1-47 SSWICS 試験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

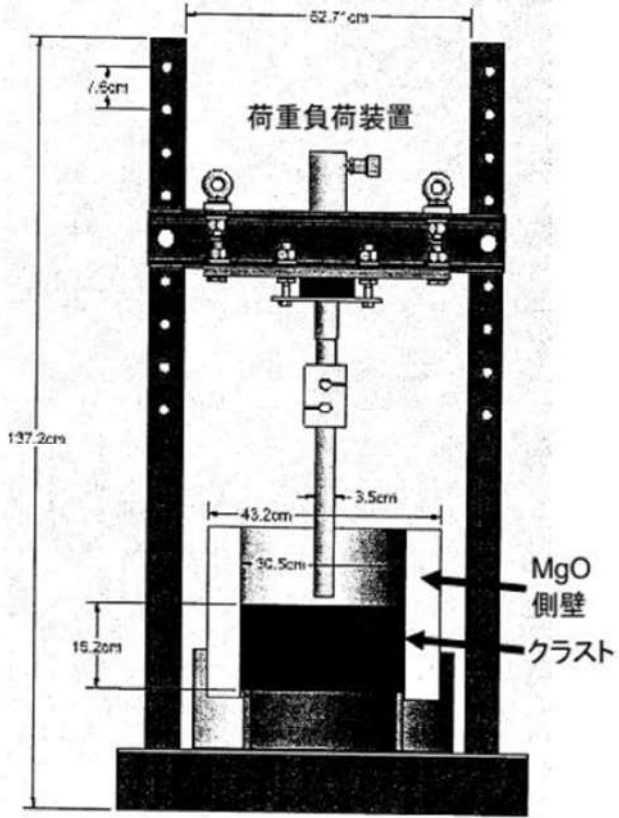
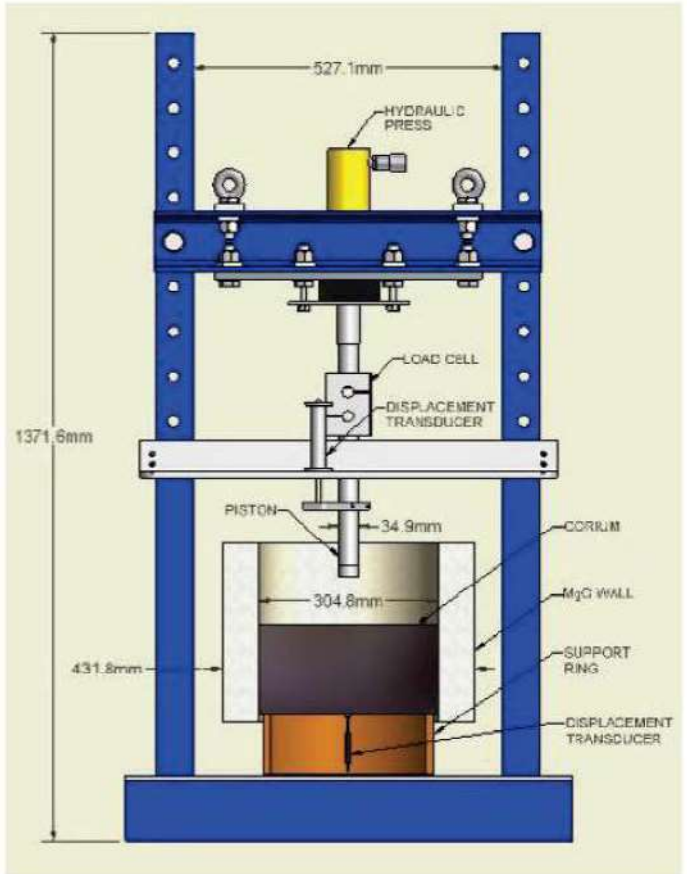
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="477 204 734 228">【参考のため掲載順を入替え】</p>  <p data-bbox="206 746 985 774">付図 2-12 SSWICS 実験データと Lister/Epstein モデルのドライアウト熱流束の比較^[12]</p>	 <p data-bbox="1288 885 1736 909">図 3.1-48 SSWICS 試験 ドライアウト熱流束の比較</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="465 272 725 296">【参考のため掲載順を入替え】</p>  <p data-bbox="286 1225 904 1251">付図 2-18 クラスト浸水実験の実験後の低温クラスト強度測定装置^[38]</p>	 <p data-bbox="1321 1225 1693 1251">図 3.1-49 SSWICS 試験 強度試験の装置図</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

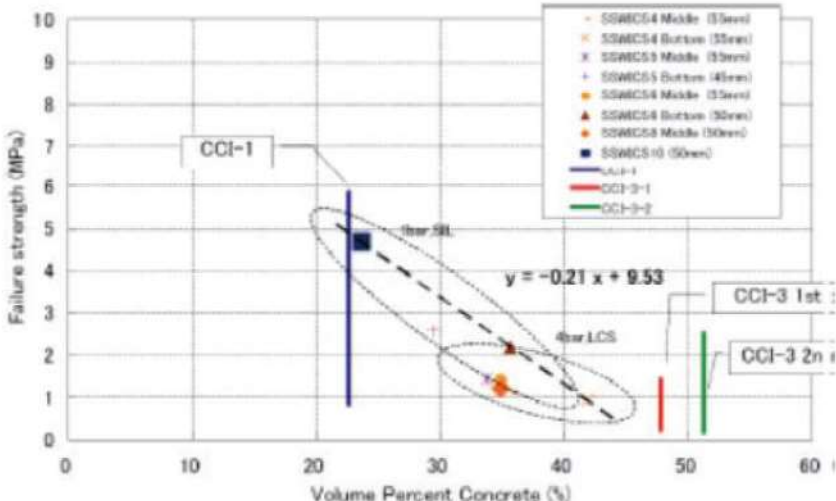
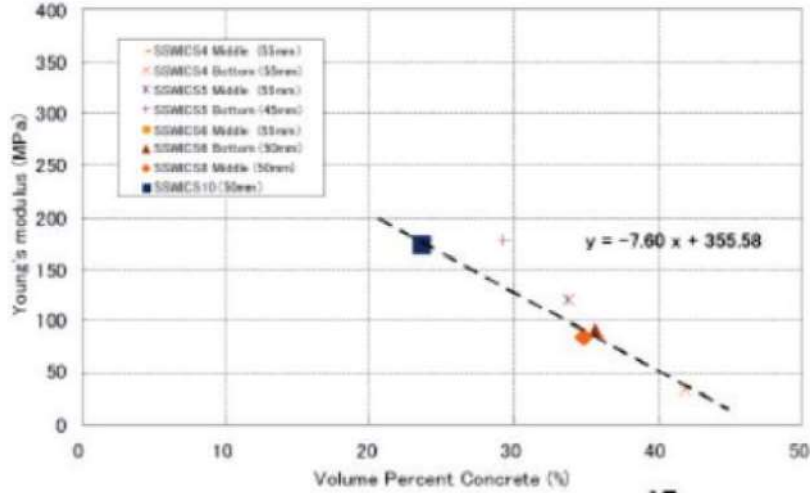
泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

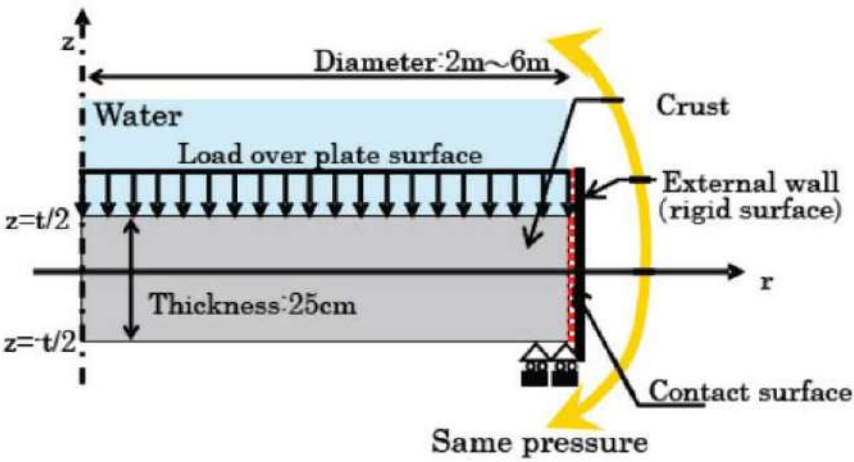
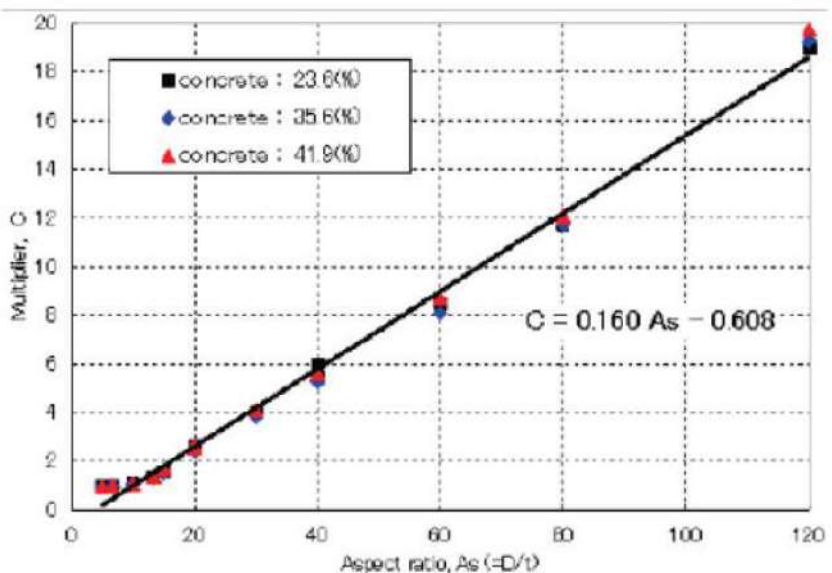
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>Figure 3.1-50 SSWICS test strength test results. The graph plots Tensile strength (MPa) on a logarithmic scale (1 to 1000) against Concrete content (%) on a linear scale (0 to 25). Two theoretical curves are shown: LCS concrete (blue dashed line) and Siliceous concrete (red solid line), both maintaining a tensile strength of approximately 100 MPa. Experimental data points (red diamonds) are labeled 1&2, 3, 4, and 5&6. Data points 1&2 and 4 are at approximately 8% and 23% concrete content respectively, with tensile strengths around 1.5 MPa. Data points 3 and 5&6 are at approximately 8% and 14% concrete content respectively, with tensile strengths around 3 MPa.</p>	

図 3.1-50 SSWICS 試験 強度試験結果

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p data-bbox="1388 782 1646 805">図 3.1-51 破損応力算出結果</p>  <p data-bbox="1377 1396 1635 1420">図 3.1-52 ヤング率算出結果</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	 <p style="text-align: center;">図 3.1-53 実機スケールのクラスト解析モデル</p> 	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

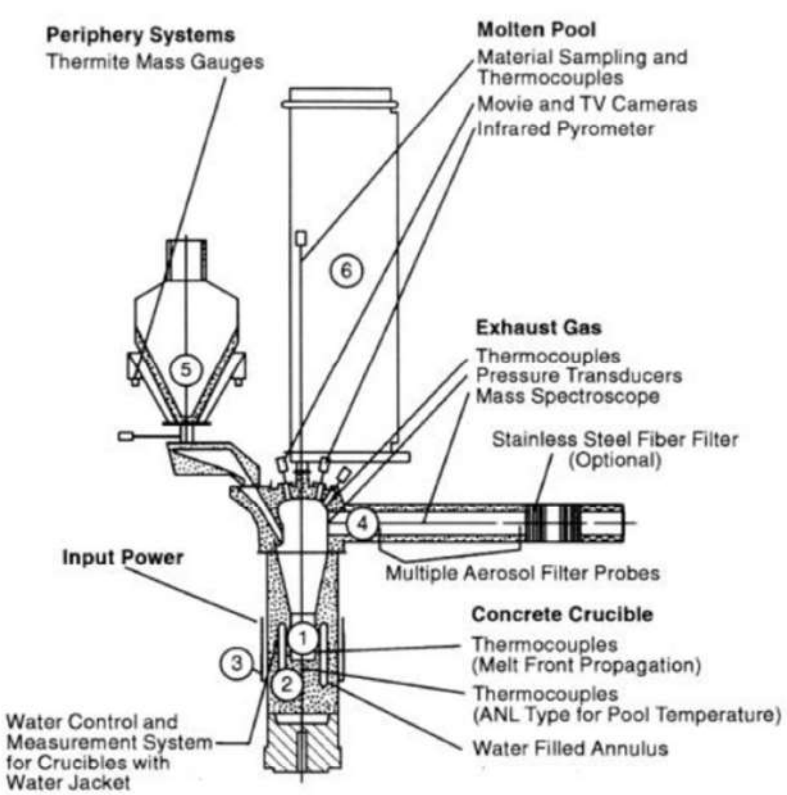
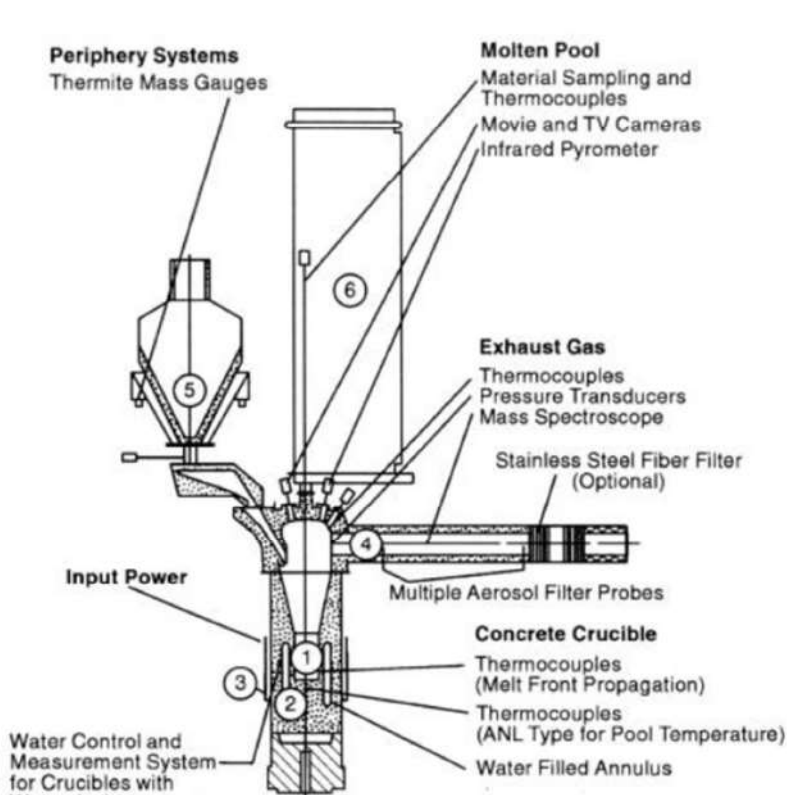
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p data-bbox="1319 169 1697 193">図 3.1-54 クラストの自重による応力分布</p>  <p data-bbox="1294 616 1722 639">図 3.1-55 PULiMS-E4 試験での溶融物拡がり挙動</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【参考のため女川の第5部添付3付録2から抜粋】</p>  <p>Periphery Systems Thermite Mass Gauges</p> <p>Molten Pool Material Sampling and Thermocouples Movie and TV Cameras Infrared Pyrometer</p> <p>Exhaust Gas Thermocouples Pressure Transducers Mass Spectroscopy Stainless Steel Fiber Filter (Optional)</p> <p>Concrete Crucible Thermocouples (Melt Front Propagation) Thermocouples (ANL Type for Pool Temperature) Water Filled Annulus</p> <p>Water Control and Measurement System for Crucibles with Water Jacket</p> <p>Input Power</p> <p>Multiple Aerosol Filter Probes</p> <p>(1) Melt (2) Concrete Crucible (3) Induction Coil (4) Hood and Offgas System (5) Thermite Reaction Tank (6) Tank for Measurement Probes</p> <p>付図 1-6 BETA 実験装置^[34]</p>	 <p>Periphery Systems Thermite Mass Gauges</p> <p>Molten Pool Material Sampling and Thermocouples Movie and TV Cameras Infrared Pyrometer</p> <p>Exhaust Gas Thermocouples Pressure Transducers Mass Spectroscopy Stainless Steel Fiber Filter (Optional)</p> <p>Concrete Crucible Thermocouples (Melt Front Propagation) Thermocouples (ANL Type for Pool Temperature) Water Filled Annulus</p> <p>Water Control and Measurement System for Crucibles with Water Jacket</p> <p>Input Power</p> <p>Multiple Aerosol Filter Probes</p> <p>(1) Melt (2) Concrete Crucible (3) Induction Coil (4) Hood and Offgas System (5) Thermite Reaction Tank (6) Tank for Measurement Probes</p> <p>図 3.1-56 BETA 試験 実験装置</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉					泊発電所3号炉					相違理由
【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】										
付表 1-2 BETA 実験マトリックス ^[6]					表 3.1-12 BETA 試験 実験マトリックス ^[6]					
BETA Test	Initial Melt, ~ 2200 K	Fission Product Mock-ups and Additives	Planned Heating Power	Main Objectives	BETA Test	Initial Melt, ~ 2200 K	Fission Product Mock-ups and Additives	Planned Heating Power	Main Objectives	
V 5.1	300 kg Fe + Cr + Ni 80 kg Zry-4 50 kg Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + CaO	none	400 kW	PWR: Zr chemistry, consequences on erosion and aerosol release	V 5.1	300 kg Fe + Cr + Ni 80 kg Zry-4 50 kg Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + CaO	none	400 kW	PWR: Zr chemistry, consequences on erosion and aerosol release	
V 5.2	as V 5.1	1 kg Mo, 0.5 kg ZrTe ₂ , 1.5 kg CeO ₂ , 1 kg BaO, 0.5 kg La ₂ O ₃ , 0.5 kg SrO, 6 kg B ₄ C in steel containers	200 kW	BWR with B ₄ C absorber, low power: Zr chemistry and related processes	V 5.2	as V 5.1	1 kg Mo, 0.5 kg ZrTe ₂ , 1.5 kg CeO ₂ , 1 kg BaO, 0.5 kg La ₂ O ₃ , 0.5 kg SrO, 6 kg B ₄ C in steel containers	200 kW	BWR with B ₄ C absorber, low power: Zr chemistry and related processes	
V 5.3	as V 5.1	1 kg Mo, 1 kg CeO ₂ , 1 kg BaO, 0.5 kg La ₂ O ₃ , 0.5 kg SrO, 6 kg B ₄ C in steel containers	800 kW	BWR with B ₄ C absorber, high power: Zr chemistry and related processes	V 5.3	as V 5.1	1 kg Mo, 1 kg CeO ₂ , 1 kg BaO, 0.5 kg La ₂ O ₃ , 0.5 kg SrO, 6 kg B ₄ C in steel containers	800 kW	BWR with B ₄ C absorber, high power: Zr chemistry and related processes	

V 5.1 V 5.2 V 5.3

V 5.1 V 5.2 V 5.3

図 3.1-57 BETA 試験 実験後のコンクリート侵食状況を示す模式図

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

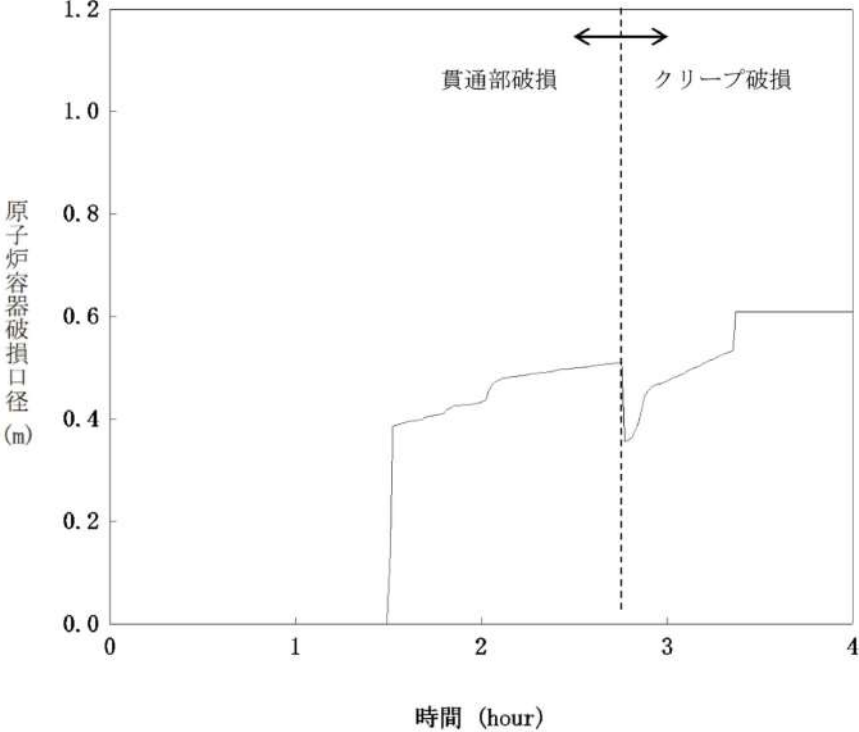
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="376 172 817 196">【参考のため女川の第5部添付3付録1から抜粋】</p> <p data-bbox="315 204 878 228">付図1-7 BETA 実験後のコンクリート侵食状況を示す模式図^[6]</p> <div data-bbox="168 248 893 300" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="174 260 819 284">本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div> <div data-bbox="228 316 976 826" style="border: 1px solid black; height: 320px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="315 850 878 874">付図1-8 BETA-V5.1 実験とMAAP解析の侵食深さの比較^[34]</p> <div data-bbox="224 877 972 1372" style="border: 1px solid black; height: 310px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="315 1396 878 1420">付図1-9 BETA-V5.2 実験とMAAP解析の侵食深さの比較^[34]</p>	<div data-bbox="1120 199 1917 742" style="border: 1px solid black; height: 340px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="1216 751 1800 775">図3.1-58 BETA試験 V5.1試験とMAAP解析結果の侵食深さの比較</p> <div data-bbox="1120 805 1917 1348" style="border: 1px solid black; height: 340px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="1216 1361 1800 1385">図3.1-59 BETA試験 V5.2試験とMAAP解析結果の侵食深さの比較</p>	

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

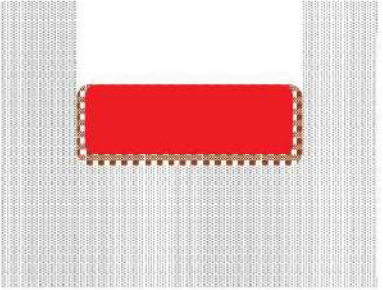
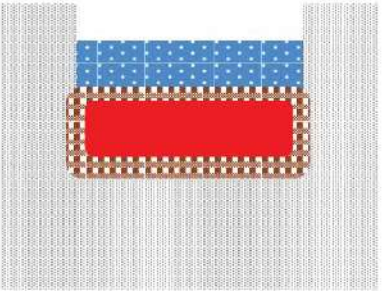
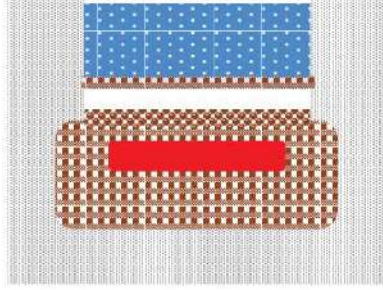
赤字：設備、運用又は体制の相違 (設計方針の相違)
 青字：記載箇所又は記載内容の相違 (記載方針の相違)
 緑字：記載表現、設備名称の相違 (実質的な相違なし)
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p data-bbox="1429 172 1944 204">枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p>  <p data-bbox="1223 1091 1787 1118">図 3.2-1 原子炉容器破損口径の拡がり (3 ループプラントの例)</p> <div data-bbox="1180 1169 1830 1339" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>注) 約 1.5 時間の時点で貫通部破損, 約 2.8 時間の時点でクリープ破損が生じており, クリープ破損以前は貫通部破損口径を, クリープ破損後はクリープ破損口径をプロットしている。</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

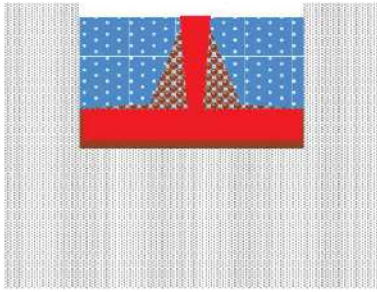

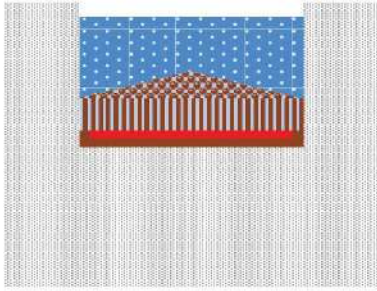

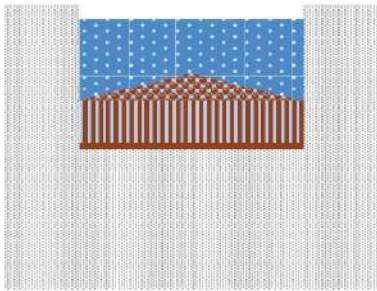
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<div style="text-align: center;">  </div> <p>注水前： 溶融物とコンクリートの間にクラストの形成が始まる。クラストにはコンクリート分解ガスが通過することで空隙が出来ている。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>注水後短期： 溶融物上面から水への激しい伝熱が起き、上面に厚いクラストが形成される。この期間の熱流束は最大約3MW/m²となり、その後急速に低下し約1MW/m²となる。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>注水後長期： 溶融物上面のクラストが側壁に固着し、溶融物との間に空間が生じる。水への熱流束は約0.2MW/m²まで徐々に低下していく。クラストにはコンクリート分解ガスが通過することで空隙が出来、水やガスがある程度透過する。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p style="text-align: center;">図 3. 3-1 MCCI 実験での挙動</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p style="margin-top: 10px;">溶融炉心落下時： 溶融炉心は完全には粒子化せず、床上を溶融炉心が拡がり、床面との間にケーキが形成される。ジェットの一部は粒子化して溶融炉心上に降下する。クラストが形成されるまでは比較的高い熱流束が維持される。</p> <p>< 3層状態 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・粒子ベッド ・溶融炉心 ・ケーキ </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin: 10px 0;">  </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p style="margin-top: 10px;">落下後短期： 溶融炉心上面からクラストが形成されるが、自重あるいは熱応力によって破碎していく。このため溶融炉心は急激に冷却されていく。</p> <p>< 4層状態 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・粒子ベッド ・破碎クラスト ・溶融炉心 ・ケーキ </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin: 10px 0;">  </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p style="margin-top: 10px;">長期冷却時： 溶融物は破碎クラストとなって固化し、上下に粒子ベッドとケーキが存在する。破碎クラストは浸水性があることから、長期的にも冷却を維持できる。</p> <p>< 3層状態 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・粒子ベッド ・破碎クラスト ・ケーキ </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 3.3-2 実機で想定される挙動</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. 評価モデルと不確かさに関する整理</p> <p>本章では、MCC I 評価に使用している解析モデルと想定される不確かさについて整理する。</p>	<p>4. <u>評価モデルと不確かさに関する整理</u></p> <p><u>本章では、MCCI 評価に使用している解析モデルと想定される不確かさについて整理する。</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4.1 MCC I 評価モデル</p> <p>MCC I 評価には、MCC I 現象を扱え、溶融炉心落下や注水によるデブリ冷却効果を評価できるMAAPコード^[34]を使用している。以下に、MCC I 伝熱モデルの概要を示す（図4-1参照）。</p> <p>コリウムの構成</p> <ul style="list-style-type: none"> 均質に溶融したプールを形成すると仮定。 上部、下部及び側面にクラスト層を仮定。 <p>クラストの生成</p> <ul style="list-style-type: none"> クラストのエネルギーバランス（溶融プールからの伝熱、水プール・コンクリートへの伝熱）によりクラスト厚さの変化率を計算。 <p>コンクリートの侵食</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面から侵食深さ方向に一次元熱伝導を解き温度分布を計算。 コンクリート溶融温度（入力値：1500K）以上で侵食開始。 溶融炉心からの伝熱量と分解/溶融潜熱により侵食量を評価。 コンクリート分解による自由水・結合水・CO₂の発生を考慮し、溶融コリウム中での化学熱力学平衡計算により金属との反応、H₂及びCO発生を評価。反応熱は、溶融炉心の崩壊熱に加算される。 <p>伝熱モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶融炉心-コンクリート間の熱伝達：溶融プールからクラスト層への対流熱伝達量とクラスト内崩壊熱の和で熱流束が与えられる。溶融プールからクラスト層への対流熱伝達は、粘性に影響されるため、固化割合に応じて補正されている。溶融炉心から床方向及び側面方向のコンクリートへの熱流束を以下に示す。 	<p>4.1 MCC I 評価モデル</p> <p>以下に、MCC I 伝熱モデルの概要を示す。</p> <p>①溶融プールモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉下部キャビティ床上に落下した溶融炉心（連続体及び粒子状）の質量とエネルギーは溶融プールに加算され瞬時に均質化すると仮定 溶融プールは平板を仮定 上部、下部及び側部クラストを考慮し、下方及び側方への侵食を考慮 内部の溶融プールの温度は1点で模擬 クラスト内の温度分布は崩壊熱を考慮して2次式で近似 侵食したコンクリートと炉心溶融物との混合割合から液化及び固化温度を評価 炉心材及びコンクリートの化学組成の化学平衡計算に基づき非凝縮性ガス（水素、一酸化炭素、二酸化炭素）の発生を評価 溶融炉心内部の発生ガスによる溶融プールの伝熱挙動への影響は模擬しない <p>②溶融プール伝熱モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 上部クラストから上部水プールへは Kutateladze の熱伝達相関式を考慮 水がない場合は上部クラストから対流及び輻射熱伝達を考慮 内部の溶融物から上部、下部及び側部クラストへは対流熱伝達を考慮 <p>③コンクリート侵食モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリートへは熱伝導で伝熱し、コンクリートの分解エネルギーを考慮 コンクリート内部の温度分布を考慮 <p>なお、溶融炉心から床方向及び側面方向のコンクリートへの熱流束を以下に示す。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="168 183 571 263">本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> <p data-bbox="190 327 784 494"> 床方向の熱流束 $q_d = h_d (T_f - T_{F,m}) + q_v \cdot X_{cd}$ $h_d = h_{d0}(1 - f_s)^n$ 壁方向の熱流束 $q_s = h_s (T_f - T_{F,m}) + q_v \cdot X_{cs}$ $h_s = h_{s0}(1 - f_s)^n$ </p> <p data-bbox="168 502 257 534">ここで、</p> <p data-bbox="190 542 1008 710"> q_d, q_s：床方向及び側面方向の熱流束 [W/m²] h_d, h_s：溶融プールからクラスト層への対流熱伝達係数 [W/m²-K] h_{d0}, h_{s0}：溶融プールが完全な液相の場合の対流熱伝達係数 [W/m²-K] f_s：固化割合 [-] </p> <p data-bbox="190 758 560 917"> n：固化効果項の指数 [-] T_f：溶融プールの温度 [K] $T_{F,m}$：デブリ融点 [K] q_v：体積発熱率 [W/m³] </p> <p data-bbox="190 925 784 957">X_{cd}, X_{cs}：床面及び壁面のクラスト厚さ [m]</p> <p data-bbox="168 965 1041 1077">対流熱伝達係数h_{d0}及びh_{s0}は、BETA実験（二次元侵食実験）のベンチマーク解析^{[23][34]}を元に、それぞれ [] と [] が、固化効果項の指数 nは、 [] が推奨されている。</p> <p data-bbox="212 1157 1052 1428">・クラストの伝熱と厚さ：クラストのエネルギーバランス（溶融プールからの伝熱、水プール・コンクリートへの伝熱）によりクラスト厚さの変化率が計算されている。側面方向及び床方向の溶融プールからの対流熱伝達係数が異なるため、下部クラストと側面クラストの厚さも異なる。内部発熱を考慮し、下部クラスト、側面クラスト、上部クラストは放物線状の温度分布が仮定されている。クラスト成長の結果、溶融プールからの熱とクラスト内発生熱をコンクリートへ伝達できなくなると、クラスト内側で溶融が生じ、クラストは薄くなる。逆に、クラストが十分に薄く、溶融プールからの熱とクラスト内発生熱以上を伝達できれば、凝固が生じ、クラストは厚くなる。</p>	<p data-bbox="1086 303 1579 438"> 床面方向の熱流束 $q_d = h_d (T_f - T_{F,m}) + q_v \cdot X_{cd}$ $h_d = h_{d0}(1 - f_s)^n$ 壁面方向の熱流束 $q_s = h_s (T_f - T_{F,m}) + q_v \cdot X_{cs}$ $h_s = h_{s0}(1 - f_s)^n$ </p> <p data-bbox="1086 470 1187 502">ここで、</p> <p data-bbox="1120 510 1780 782"> q_d, q_s：床面方向及び壁面方向の熱流束 [W/m²] h_d, h_s：溶融プールからクラストへの対流熱伝達係数 [W/m²/K] h_{d0}, h_{s0}：溶融プールが完全な液相の場合の対流熱伝達係数 [W/m²/K] f_s：固化割合 [-]n：固化効果項の指数 [-] T_f：溶融プールの温度 [K] $T_{F,m}$：デブリ融点 [K] q_v：体積発熱率 [W/m³] X_{cd}, X_{cs}：床面及び壁面のクラスト厚さ [m] </p> <p data-bbox="1086 790 1164 813">である。</p> <p data-bbox="1086 821 1960 885">対流熱伝達係数h_{d0}及びh_{s0}は、BETA 実験のベンチマーク解析を元に、それぞれ [] と [] が、固化効果項の指数nは、 [] が推奨されている。</p> <p data-bbox="1086 1157 1960 1252">また、クラストの厚さについては、クラストのエネルギーバランス（溶融プールからの伝熱、水プール・コンクリートへの伝熱）により変化率が計算されている。側面方向及び床方向の溶融プールからの対流熱伝達係数が異なるため、下部クラストと側面クラストの厚さも異なる。</p>	<p data-bbox="1657 1372 1960 1436">枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>・上部クラスト-水プール間の熱伝達：デブリが冠水されて表面温度が十分低下すると、上部クラストはクエンチ層として扱われ、以下の Kutateladze 型の水平平板限界熱流束相関式が適用される。このクエンチ熱流束は、デブリ平均温度が水の飽和温度以上である場合に適用される。</p> $q_{chf} = F_{chf} h_{fg} \rho_g^{0.5} \{ \sigma g (\rho_l - \rho_g) \}^{0.25}$ <p>ここで、</p> <p>q_{chf}：熱流束 [W/m²] F_{chf}：係数 [-]（ユーザー入力） h_{fg}：蒸発潜熱 [J/kg] ρ_g：蒸気の密度 [kg/m³] ρ_l：水の密度 [kg/m³] σ：表面張力 [N/m] g：重力加速度 [m/s²]</p> <p>係数 F_{chf} として、SNLで実施されたSWISS実験において報告されている溶融物から水プールへの熱流束800kW/m²に相当する値である0.1がデフォルトとして設定されており、係数 F_{chf} を変更することにより粒子状ベッドから水プールへの熱流束を想定した解析が実施できる。係数 F_{chf} と熱流束 q_{chf} の関係を図4-2に示す。係数 F_{chf} のデフォルトは0.1が使われており、この場合熱流束 q_{chf} は大気圧状態で800kW/m²程度となる。</p> <p>デブリ平均温度が水の飽和温度と等しくなると(デブリクエンチ)、水プールへの熱流束は、デブリの崩壊熱が全て水プールへ伝達されるとして計算され、上記限界熱流束相関式は適用されない。デブリクエンチ後は、デブリからコンクリートへの熱伝達は発生しなくなるため、デブリと接しているコンクリート温度が侵食温度以下となり、コンクリートの侵食は停止する。</p>		<p>※溶融炉心と原子炉下部キャビティ水の伝熱については、後述の『4.2 不確かさの整理』に記載</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="152 228 1032 703" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="376 715 819 742" data-label="Caption"> <p>図4-1 MAAPコードのMCCI伝熱モデル概要</p> </div> <div data-bbox="152 842 1032 1358" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="315 1369 882 1437" data-label="Caption"> <p>図4-2 MAAPコードのデブリ上面の熱流束を与える F_{chf} 入力と限界熱流束の関係</p> </div>	<div data-bbox="1973 169 2107 264" data-label="Text"> <p>※第3部 MAAP本文で 記載</p> </div> <div data-bbox="1973 852 2107 1015" data-label="Text"> <p>※添付資料 7.2.4.11 別紙 にてC_Rと限界 熱流束の関係を 記載</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

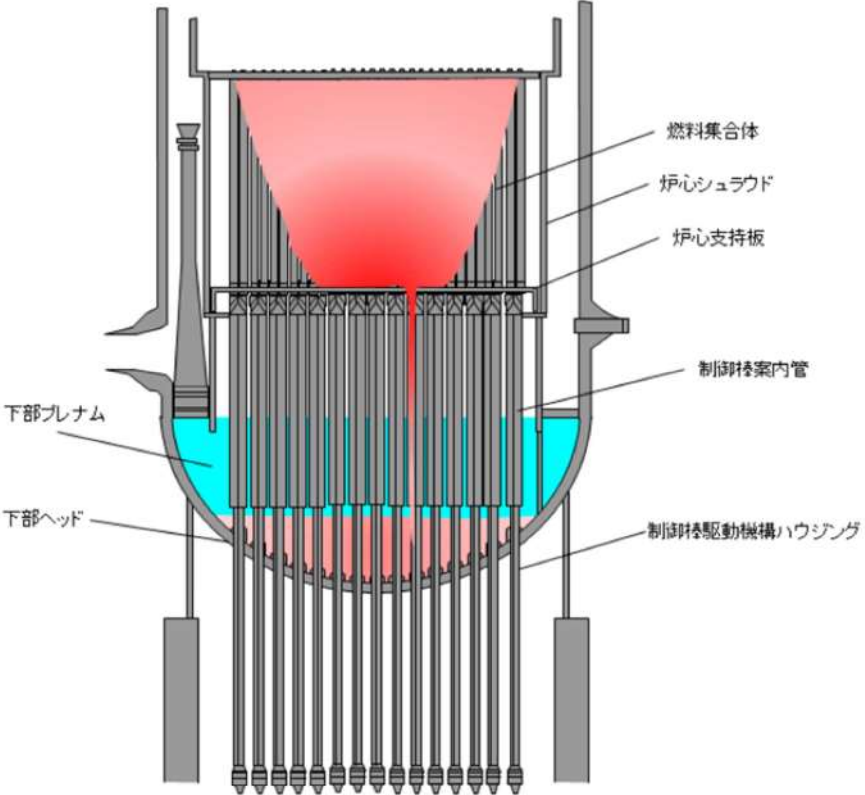
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4.2 MCC I 評価における不確かさの整理</p> <p>MCC I の過程ごとに不確かさ要因を整理する。MCC I は以下の過程で段階的に進展する。</p> <p>(1) 原子炉圧力容器下部ヘッド破損過程</p> <p>(2) 熔融物の落下・堆積過程</p> <p>(3) MCC I 進行と注水によるデブリ冷却過程</p> <p>各過程での物理現象及び解析モデルに関し、不確かさ要因を整理し、感度解析が必要なパラメータを確認する。</p> <p>(1) 原子炉圧力容器下部ヘッド破損過程</p> <p>この過程の不確かさは、下部ヘッドの破損面積や熔融炉心の流出量となる。それぞれについて、評価モデルと評価条件の考え方を示す。</p> <p>下部ヘッド破損面積</p> <p>評価モデル：MAAPコードでは、制御棒駆動機構ハウジング溶接部の破損、下部ヘッドクリップ破損等の種々の下部ヘッド破損モードがモデル化されており、最も早く破損条件に至った破損モードにより破損が生じる。破損面積は、熔融物流出に伴う破損口の径方向侵食による拡大も考慮されている。</p> <p>評価条件：MAAP解析結果から、制御棒駆動機構ハウジング溶接部の破損による制御棒駆動機構ハウジングの逸出が最も早く発生する。これにより約15cm径の破断口が下部ヘッドに開き、下部プレナム内の熔融炉心がペDESTALに落下することになる。他の下部ヘッド貫通部が破損してもこれ以上の破損サイズにはならないことから、制御棒駆動機構ハウジングの逸出が最も厳しい条件となっている。なお、制御棒駆動機構ハウジング溶接部が破損しても外部サポートが設置されている場合には、制御棒駆動機構ハウジングの逸出は起きにくいと考えられるため、この扱いは保守的である。</p> <p>熔融炉心の落下量</p> <p>評価モデル：熔融炉心流出流量は駆動差圧として原子炉圧力容器内とペDESTALとの圧力差に水及び熔融炉心の水頭圧を考慮して計算されている。</p> <p>評価条件：MAAP解析結果から、下部ヘッド破損前には全炉心相当の熔融炉心が下部プレナム内に堆積した状態になっている。この状態に至る前には、以下の過程が起こる。即ち、熔融炉心が下部プレナムへ落下を開始すると、下部プレナム水により熔融炉心が冷却される。また、制御棒案内管内にも水が溜まっており、熔融炉心の冷却のヒートシンクになる（図4-3参照）。下部プレナムや制御棒案内管内の水が蒸発して喪失すると、制御棒案内管の温度が上昇し熔融に至る。制御棒案内管は炉心重量を支持しているために、制御棒案内管の熔融が起これると、炉心の支持機能が喪失し、全炉心が下部プレナムへ落下する。</p>	<p>4.2 不確かさの整理</p> <p>炉心熔融後、原子炉容器内の冷却水がドライアウトすることにより、原子炉容器下部プレナムに堆積している熔融炉心を冷却できない状態が継続すると、原子炉容器壁は熔融炉心からの伝熱によって温度が上昇し、計装案内管の溶接部が破損する。その後、破損口より下部に残存している熔融炉心からの伝熱によって、原子炉容器底部がクリープ破損に至る。破損口から熔融炉心が流出する過程では、破損口が熔融拡大することによりデブリジェット径が拡大する。また、デブリジェットは落下過程でエントレインされ部分的に粒子化する。</p> <p>MCCI は、原子炉下部キャビティ底に堆積した熔融炉心が周囲のコンクリートや原子炉下部キャビティ水と伝熱する過程でコンクリートが加熱され侵食を引き起こす現象である。国内 PWR プラントでは、コンクリート侵食を防止するために、炉心損傷検知後速やかに原子炉下部キャビティに水を張り、高温の熔融炉心を水中に落下させることによって細粒化及び固化を促進させる方策を採っている。図4-1に熔融炉心伝熱の想定される現象と解析上の取扱いとの比較概念図を示す。</p> <p>コンクリート侵食に至る過程は、</p> <p>① 熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程</p> <p>② 熔融炉心の冷却過程</p> <p>③ コンクリートの侵食過程</p> <p>のように段階的に進展する。</p> <p>以下、各過程での物理現象及び解析モデルに関し、不確かさの観点で整理する。また、表4-1にMCCIの不確かさに関する整理結果を、図4-2に以下について整理した流れ図を示す。</p>	<p>・泊は「不確かさの整理」で章のタイトル名を統一</p> <p>※炉型や整理された知見差により、不確かさの整理に相違がある。</p> <p>※泊でも貫通部（計装案内管）の飛び出し（逸出）を想定。計装案内管が唯一の貫通部であり、最大口径。また、破損面積は、熔融物流出に伴う破損口径の径方向侵食による拡大も考慮。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>その後、制御棒駆動機構ハウジング溶接部の破損が起り、溶融炉心の放出が開始する。以上のような過程の結果、下部ヘッド破損時に、下部プレナム内に堆積している全炉心相当の溶融炉心が流出することになり、溶融炉心の落下流量としては、最も厳しい条件となっている。</p> <p>以上に示したように、下部ヘッドの破損面積や溶融炉心の流出量について、いずれも最も厳しい条件が使用されているため、特に感度解析を行う必要はない。</p>  <p>図4-3 炉心部から下部プレナム内への溶融炉心の移行状態を示す模式図</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 溶融物の落下・堆積過程</p> <p>この過程では、下部ヘッドが破損し、溶融炉心が事前水張りされたベドスタルへ落下するため、溶融炉心が水中で粒子化することが想定され、粒子化されない溶融炉心はベドスタル床に溶融プールとして堆積する。この過程では、溶融炉心の水中での粒子化に不確かさが想定される。</p> <p>溶融炉心の粒子化</p> <p>評価モデル：MAAPコードでは、粒子化割合は、Ricou-Spalding モデル^[26]で計算される。Ricou-Spalding モデルは、エントレインメント量（粒子化量）を流入流体の速度（ジェット速度）と両流体の密度比に関連させたモデルであり、液液混合問題において広く利用されている相関式である。落下する溶融炉心は円柱ジェットで冷却水中に突入することを想定し、円柱ジェット外周部の侵食として粒子化割合を評価している。</p> <p>円柱ジェットのエントレインメント速度 m_{ent} (m/s) は、次式で与えている。</p> $m_{ent} = E_o \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} \right)^{1/2} u_{dj} \quad (1)$ <p>ここで、E_o：エントレインメント係数 u_{dj}：ジェット速度 [m/s] ρ_d：ジェット密度 [kg/m³] ρ_w：水密度 [kg/m³]</p> <p>水中でのジェット速度を一定と仮定し、水面から垂直方向に積分すると、プール底部（水深：ΔH_{pool}）におけるジェット直径が(2)式のように得られる。</p> $d_{dj} = d_{d,o} - 2E_o \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} \right)^{1/2} \Delta H_{pool} \quad (2)$ <p>(2)式を用いて、溶融ジェット断面の減少分が粒子化割合であるため、次式のように計算される。</p> $\Phi_{ent} = \frac{d_{d,o}^2 - d_{dj}^2}{d_{d,o}^2} \quad (3)$ <p>ここで、d_{dj}：プール底部におけるジェット径 [m] $d_{d,o}$：プール水面におけるジェット径 [m] Φ_{ent}：水中における粒子化割合 [-]</p>	<p>(1) 溶融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程</p> <p>原子炉容器が破損し、溶融炉心が原子炉下部キャビティへ落下し、原子炉下部キャビティ底に堆積するが、堆積のプロセスとしては、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エントレインされない溶融炉心が原子炉下部キャビティ底に堆積（溶融プール） ・エントレインされたデブリ粒子が冷却されたのち溶融プール上に堆積 <p>がある。これらの過程に関して不確かさを整理する。</p> <p>エントレイン量（溶融炉心の細粒化量）</p> <p>エントレインされたデブリ粒子は、水中に拡散しており、かつ、水との接触面積が大きいことから、塊状の溶融炉心に比べ、冷却が促進された状態であり、MCCI 現象においてコンクリートの侵食を促進する観点からは、エントレイン量が少ない方が、厳しいと言えるが、溶融プール上に堆積した状態では、溶融プール上面の伝熱を低下させる要因となる。</p> <p>一方、原子炉下部キャビティ水量に関しては、水深が浅い方が、溶融炉心の細粒化量が小さくなる傾向がある。MAAP コードの解析モデルでは、原子炉格納容器内の流動は、ノード-ジャンクションモデルによって、ブローダウン水、スプレイ水等の原子炉下部キャビティへの流入量を計算し、原子炉下部キャビティの幾何形状に基づき、水位（水深）を計算している。即ち、原子炉格納容器形状とスプレイ開始のタイミング（事故シーケンス）で決まる。原子炉格納容器形状に関してはプラント設計データにより設定されることから不確かさは小さい。一方で、溶融炉心の落下時にも原子炉下部キャビティへの注水が継続した状態であることから、原子炉下部キャビティへの注水や溶融炉心の落下のタイミングによっては、原子炉下部キャビティ水深が変化し得ることから、事故シーケンスに基づく不確かさは存在すると考えられる。原子炉下部キャビティ水深が浅い場合には、細粒化量が少なくなる傾向になり、原子炉下部キャビティ床に堆積する溶融炉心のうち、十分に冷却されないまま液滴が凝集するかあるいは連続層として堆積する割合が増大する。水深が深い場合には、細粒化及び固化する量が多くなり、粒子ベッドとして堆積する割合が増大する。定性的には、前者の状態では、溶融炉心は冷却されにくくなるといえる。また、溶融炉心が段階的に原子炉下部キャビティに落下する場合、溶融炉心が落下するたびに、一部が細粒化し、残りが連続層として原子炉下部キャビティ床に堆積し、原子炉下部キャビティ内の水が蒸発して原子炉下部キャビティ水深が浅くなることを繰り返す。溶融炉心が段階的に原子炉下部キャビティに落下することによる原子炉下部キャビティ水深の減少は、溶融炉心冷却の観点で厳しくなる。このように、原子炉下部キャビティ水深については不確かさが存在するため、<u>代替格納容器スプレイの作動タイミングの感度を確認することによって、水深の不確かさの影響を把握する。</u></p> <p>また、エントレイン量について、MAAP コードでは、Ricou-Spalding の式に基づき細粒化量を計算している。Ricou-Spalding モデルは、エントレインメント量（細粒化量）を流入流体の速度（ジェット速度）と両流体の密度比に関連させたモデルであり、液液混合問題において広く利用されている相関式である。Ricou-Spalding のエントレインメント則は、</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="159 188 555 256">本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> <p data-bbox="185 308 1048 400">以上の評価式において、デブリ粒子化割合に影響するパラメータは、エントレインメント係数、溶融ジェット径及びプール水深であり、このうちモデルパラメータとしてエントレインメント係数と溶融物ジェット径に不確かさが想定される。</p> <p data-bbox="185 408 1048 671">エントレインメント係数については、MAAPでは代表的なFCIの大規模実験であるFARO実験に対するベンチマーク解析^[34]によって範囲を設定しており、不確かさ範囲は、□～□となっている。FARO 実験条件^[4]は、水プールの水深は0.87～2.05m、水プールのサブクール度は0（飽和）～124K、雰囲気圧力条件は2～5.8MPa（高圧条件）、0.2～0.5MPa（低圧条件）の範囲で行われており、一方、実機条件では、水深は2～4m程度、水プールサブクール度は飽和～90K程度、雰囲気圧力は0.2MPa[abs]程度であることを考慮すると、実験条件は有効性評価の特徴的な条件を包括しており、ベンチマーク解析で検討されたエントレインメント係数の範囲内で感度を確認すれば十分といえる。</p> <p data-bbox="185 679 1048 740">評価条件：MAAP解析ではエントレインメント係数のデフォルト値として□が使用されており、これは実験解析により確認された不確かさ範囲の代表値となっている。</p> <p data-bbox="185 748 1048 809">溶融物ジェット径は、下部ヘッド破損口径により決まることから、前述のように大きい値としている。これは、粒子化割合を小さめにする扱いをしていることになる。</p> <p data-bbox="185 817 1048 877">因みに、Ricou-Spalding 相関式を使用して、実機で想定される水張り水深2m、溶融物ジェット径0.15m の条件の場合で63%程度が粒子化される（図4-4 参照）。^[33]</p> <p data-bbox="185 885 1048 978">以上のことから、エントレインメント係数については、不確かさ範囲が設定されており、溶融炉心が水中に落下した際の粒子化割合とその過程での蒸気発生やデブリ粒子の酸化による水素ガス発生に影響することから、不確かさ範囲内で感度解析を実施する。</p>	$m_{ent} = E_0 \cdot u_{jet} \cdot \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_{jet}}}$ <p data-bbox="1095 272 1966 365">で表され、m_{ent}はエントレインメント速度、E_0はエントレインメント係数、u_{jet}はジェット速度、ρ_wは静止側の流体密度、ρ_{jet}は噴出側の流体密度である。上記エントレインメント則に示すように融体がエントレインする速度は、エントレインメント係数と落下速度に比例する。</p> <p data-bbox="1095 373 1966 504">エントレインメント係数E_0について、MAAPコードではFCIの大規模実験に対するベンチマーク解析によって、その範囲を設定しており、有効性評価の解析ではその中間的な値（最確値）を設定している。ここで、エントレインメント係数の最小値は最確値よりも約□割小さく設定されているため、不確かさとしては約□割を見込む。</p> <p data-bbox="1095 512 1966 707">一方、溶融炉心落下速度は、原子炉容器内外圧力差と溶融炉心の水頭から計算される。大破断LOCAシーケンスでは、原子炉容器内外圧力差は大きくなく、不確かさも小さいと考えられるが、溶融炉心水頭については、原子炉容器の破損位置により不確かさがある。原子炉容器の破損位置は、原子炉容器下部プレナムのノード代表点で表されるため、溶融炉心上面から破損口までの高さとして0.8m～1.2m、即ち約3割の不確かさ幅がある。溶融炉心落下速度は溶融炉心水頭の平方根に比例することから、落下速度の不確かさ幅は約2割となる。</p> <div data-bbox="1653 746 1957 807" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> </div> <p data-bbox="1095 852 1966 1286">次に、デブリジェット径は、Ricou-Spaldingのエントレインメント則で使用されるパラメータではないものの、後述のとおり実機スケールではデブリジェット全体が細粒化するわけではなく、ジェット径の増加はエントレインメント割合の減少と等価であることから、エントレイン量の不確かさの一部として取り扱う。デブリジェット径は原子炉容器の破損口径と等価として扱われており、溶融炉心が破損口を通過する際に原子炉容器壁が侵食されて破損口が拡大するとデブリジェット径も大きくなる。デブリジェット径と細粒化量との関係を図4-3に示す。デブリジェットが円柱状態で水中に落下すると、水面下でデブリジェットの細粒化が進み、デブリジェットの先端が逆円錐の形状となる。デブリジェット径が相対的に小さく、デブリジェットの先端が床に達しない状況では、すべての溶融炉心が細粒化される（図4-3(a)）。一方、実機においては原子炉容器の破損口が侵食によって拡大するため、デブリジェット径が相対的に大きく、すべての溶融炉心が細粒化されるわけではなく、デブリジェットの先端が床に達する（図4-3(b)）。実機では、最終的な破損口径は、初期径及び侵食の拡大幅によって決まり、侵食の拡大幅は破損口を通過する溶融炉心の量に依存する。</p> <p data-bbox="1095 1294 1966 1425">まず、初期径の不確かさとして、「重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（第3部 MAAPコード）添付2 溶融炉心と冷却水の相互作用について」の「5 感度解析と評価」において約3倍の不確かさを想定した場合、侵食後の原子炉容器貫通部の破損口径は、ベースケースと比較して約1%拡大している。また、侵食の拡大幅の不確かさとして、「重</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="159 188 557 256">本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。</p> <div data-bbox="159 293 1030 810" style="border: 2px solid black; height: 324px; width: 389px;"></div> <p data-bbox="147 852 566 877">(3) MCC I 進行と注水によるデブリ冷却過程</p> <p data-bbox="188 885 1048 944">この過程では、溶融炉心の拡がり、デブリベッドの冷却性、コンクリート侵食に不確かさが想定される。</p> <p data-bbox="183 989 344 1013">溶融炉心の拡がり</p> <p data-bbox="188 1023 1048 1082">評価モデル：MAAPコードでは、落下した溶融炉心はペDESTAL床面に均一に拡がると仮定している。</p> <p data-bbox="183 1091 1048 1251">評価条件：事前水張りされたペDESTALのプール水中に落下する溶融炉心は、前節の溶融物の落下・堆積過程で示したように、一部が粒子化した後に固化し、残りが溶融状態のまま床面に到達して床面上を拡がり、固化したデブリ粒子が床上の連続層の上に堆積して粒子状ベッドを形成するものと想定される（図1-1参照）。このような溶融炉心の拡がりにおいて、溶融物の拡がり距離と粒子状ベッドの堆積形状に不確かさが想定される。</p> <p data-bbox="183 1260 1048 1420">まず、溶融物の拡がり距離の不確かさについて考察する。Mark-I型格納容器のシェルアタックに関する研究^{[17][18][19][20]}によれば、水張りがないと溶融炉心は格納容器シェル壁（拡がり距離7m程度）まで到達するが、水張りがあれば溶融炉心の拡がりは抑えられ、拡がり距離は落下量等にも依存するが5m程度となる結果が得られている。有効性評価で想定している制御棒駆動機構ハウジングの逸出を想定すると、ABWR（ペDESTAL半径約5.3m）で床上に水がある場合でも、落下</p>	<p data-bbox="1095 169 1957 263">重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（第3部 MAAP コード）の「4.3.5 リロケーション」の結果から、リロケーションが早く進むことを想定した場合、原子炉容器貫通部の破損口径は、ベースケースと比較して約3割増加している。</p> <p data-bbox="1095 272 1957 432">以上より、エントレインメント係数、破損口径及び落下速度の不確かさはエントレインメント量の不確かさとしてまとめて考えることができ、不確かさの大きいエントレインメント係数を代表して感度を確認する。また、エントレインメント係数、落下速度、破損口径の不確かさを重畳させると、不確かさ幅は約5割となり、これについては「5 感度解析と評価（2）Ricou-Spaldingのエントレインメント係数」にて考察する。</p> <p data-bbox="1095 442 1957 671">一方、堆積した状態のデブリ粒子に関しては、物理現象としては溶融プールとデブリ粒子が成層化した状態となるが、MAAPコードの解析モデルでは、原子炉下部キャビティ底の溶融炉心は均一に混合する仮定であり、溶融プールとデブリ粒子が成層化した状態としては取り扱っておらず、クラストと溶融プールから構成される平板状の発熱体として模擬しており、そのモデルの不確かさについては「溶融炉心の冷却過程」で取り扱う。溶融プールとデブリ粒子が成層化した状態では、溶融プールから原子炉下部キャビティ水への伝熱の点で影響があり、不確かさが存在する（感度解析に関しては、後述の「溶融炉心と原子炉下部キャビティ水の伝熱」にて整理する）。</p> <p data-bbox="1095 989 1532 1013">溶融炉心の原子炉下部キャビティ床面への拡がり</p> <p data-bbox="1095 1023 1957 1251">溶融炉心の原子炉下部キャビティ床面への拡がりについては、水がないドライ状態では、溶融させたステンレス鋼により溶融炉心を模擬した実験より均一に拡がるという知見が得られている。国内PWRプラントでは、炉心損傷検知後に、原子炉下部キャビティへの水張りを行うことから、溶融炉心は冷却され表面にクラストを形成しつつ拡がることとなる。クラストは、溶融炉心の相変化時（固化時）の収縮によりクラックが生じ、溶融炉心の自重によってクラストは崩壊して、拡がっていくが、ドライの状態に比べて、拡がりが抑制されることも報告されており、今後、知見の拡充が必要である。</p> <p data-bbox="1095 1260 1957 1420">MAAPコードの解析モデルでは、原子炉下部キャビティ底に落下した溶融炉心は均一に混合された状態を仮定し、原子炉下部キャビティ床面への拡がりについては、拡がり面積を入力条件として与えている。重大事故の緩和策の有効性評価では、原子炉下部キャビティ床全面に均一に拡がることを前提として評価している。これは、米国の新設炉に対する電力要求では炉心出力から原子炉下部キャビティ床面積を求める要求があり、そこでは溶融炉心が床全面に均一に拡がることを前提</p>	<p data-bbox="1973 683 2116 774">※第3部 MAAP 添付2 3.2 (2) で記載</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>位置に依らず床全面に溶融物が拡がること、三次元溶融物拡がり解析により示されている^[40]（付録4(5)a参照）。また、PULIMS 実験では、水中での溶融物の拡がり挙動が観察され、高温の溶融物は、水張りがあつたとしても落下直後は膜沸騰が維持された状態で拡がり、その後拡がり停止することが確認されている。また、実験結果を元に、水中での溶融物の拡がり距離を求めるスケーリング則が提案されている。このスケーリング則に、BWRの溶融炉心落下条件を適用して、水中での溶融物の拡がり距離を評価すると、約18mとなる（付録4(5)b参照）。ペDESTAL半径が、ABWRが約5.3m、Mark-I改良型格納容器が約3.2mであることを考慮すると、水張りをしている場合でも溶融炉心は、落下位置に依らず床全面に拡がる可能性が高いと考えられる。これは、溶融物の拡がりに影響する因子のうち、主に溶融炉心落下流量が大きい（全炉心相当の溶融炉心が1分程度で落下することを想定）ことによるものと考えられる。溶融物の拡がり距離については、不確かさを考慮しても床全面に拡がるものと想定される。</p> <p>次に、粒子状ベッドの堆積形状の不確かさについて考察する。落下直後の初期段階では、DEFOR実験^[16]で確認されたように不均一に堆積することが想定されるが、崩壊熱を発生するデブリ粒子では、粒子状ベッド内の継続的沸騰による粒子の攪拌によるセルフレベルリング効果により、時間とともに堆積厚さが均一化することが想定される（付録4(4)参照）。ただし、溶融炉心がペDESTALの中心からずれた位置に落下する場合を想定すると、セルフレベルリング効果により均一化に向かっているが、偏った堆積形状でMCCIが進行する可能性も考えられる。堆積形状の相違により、溶融炉心から水やコンクリートへの伝熱面積が異なってくる。これにより、溶融炉心から水及びコンクリートへの熱配分が異なってくる。MAAPコードでは、均一堆積形状（円柱）として扱うため、不均一な堆積形状は、正確には模擬できない。図4-1に示す溶融炉心からの伝熱のうち、溶融炉心から水への伝熱が、溶融炉心の冷却に支配的であり、MCCIの結果に大きく影響することを考慮して、均一堆積形状（円柱）と種々の不均一な堆積形状について、水への伝熱面積を比較した。1100MWe BWR 5 Mark-I改相当の比較結果を図4-5に示すが、MAAPコードで想定している均一堆積形状（円柱）が、最も水への伝熱面積が小さくなる。偏った堆積形状を代表する斜切円柱の場合でも、均一堆積形状（円柱）より水への伝熱面積は大きくなっている。円柱状の部分拡がりの場合でも、上面の伝熱面積は減少するが、側面の伝熱面積が加わることにより、均一堆積形状（円柱）より水への伝熱面積は大きくなっている。以上から、堆積形状の不確かさについては、均一堆積形状（円柱）の扱いが、溶融炉心から水への伝熱を小さくし、結果的にコンクリートへの伝熱を大きくしているため、MCCI評価の観点から保守的な扱いとなっていると考えられる。以上の考察より、溶融炉心の拡がりについて、粒子状ベッドの堆積形状の不確かさが想定され、溶融炉心から水への伝熱に影響する可能性も考えられることから、拡がりを抑制した場合の感度解析の実施が必要と考えられる。ただし、溶融炉心の拡がりについては、ペDESTALの形状や事前水張りの深さによるところが大きいので、個別プラントにおけるこれらの状況を踏まえて感度解析等の取り扱いを行うことが適切と考えられる。</p>	<p>にした考え方が採用されており、本有効性評価においても同様の考え方に則っている。しかしながら、上述のとおり、ウェットな状態での溶融炉心の原子炉下部キャビティ床面への拡がり面積については、DEFOR実験において堆積形状が山状になるという結果が得られているものの拡がりの観点で詳細に研究がなされているものではなく、知見の拡充が必要であり、現象として不確かさがある。よって、<u>原子炉下部キャビティ床面への拡がりについての感度を確認する。</u></p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由														
<div data-bbox="197 204 1012 609"> </div> <div data-bbox="197 638 1012 1165"> <table border="1"> <caption>水への伝熱面積(A) (均一堆積(円柱)の伝熱面積を1とした比率)</caption> <thead> <tr> <th>形状</th> <th>伝熱面積比 [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (円柱) (有効性評価)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>2 (円錐)</td> <td>1.45</td> </tr> <tr> <td>3 (円錐台)</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>4 (部分球)</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>5 (斜切円柱)</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>6 (円柱(拡がり面積半分))</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p data-bbox="286 1225 913 1252">図4-5 溶融炉心の堆積形状のバリエーションと水への伝熱面積の比較</p>	形状	伝熱面積比 [-]	1 (円柱) (有効性評価)	1.0	2 (円錐)	1.45	3 (円錐台)	1.4	4 (部分球)	1.35	5 (斜切円柱)	1.35	6 (円柱(拡がり面積半分))	1.5		
形状	伝熱面積比 [-]															
1 (円柱) (有効性評価)	1.0															
2 (円錐)	1.45															
3 (円錐台)	1.4															
4 (部分球)	1.35															
5 (斜切円柱)	1.35															
6 (円柱(拡がり面積半分))	1.5															

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

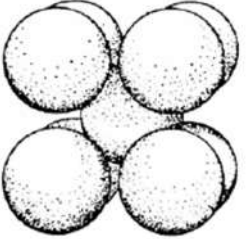
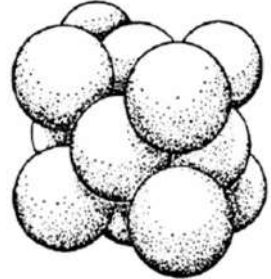
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>デブリから水への熱伝達</p> <p>デブリベッドから水への熱流束は、熔融炉心上面の性状により大きく影響されるため、大きな不確かさが想定される。</p> <p>評価モデル：熔融炉心上面から水への熱流束は、上部クラスト-水プール間の熱伝達モデルである Kutateladze 型の水平平板限界熱流束相関式（Kutateladze 式）で与えられるが、係数 F_{chf} を調整することにより、熔融炉心上面の性状に応じた熱流束を設定することが可能である。これは、上面の性状に応じて水への熱流束が内部で計算されるモデルではなく、Kutateladze 式による限界熱流束で与えるモデルとなっているためである。</p> <p>評価条件：事前水張り対策により熔融炉心の一部は粒子化して、デブリ上部に粒子状ベッドを形成し、下部には粒子化しなかった熔融炉心が熔融プールを形成すると想定される。これは、水中に熔融炉心を落下させた実験的知見^{[14][15][16]}（付録3参照）から、安定クラストは形成されず、粒子状ベッドが形成されていることから妥当と考えられる。なお、SSWICS 実験では、コンクリートがデブリに含有されると上面熱流束が低下する結果が得られているが、これは火山型クラストが形成された場合の知見であり、粒子状ベッドに対する知見ではないと判断される。</p> <p>デブリ上面に粒子状ベッドが形成されることを想定し、粒子状ベッドから水への熱流束の不確かさを評価する。ここでは、Lipinski 0-D モデル^[24]を使用し、主なパラメータである粒子径、ポロシティ、堆積高さ、圧力を変えた場合の粒子状ベッドのドライアウト熱流束の不確かさを評価した。以下のように各パラメータを想定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 粒子径は、これまでの実験等の知見により3～7mmと報告されているため^[33]、この範囲を不確かさの範囲と想定する。 ポロシティは、おおむね0.3以上が報告されているが^[33]、粒子の充填状態の幅を考慮して、0.26（面心立方格子、最稠密）、0.32（体心立方格子）、0.4（MAAP標準値）、0.48（単純立方格子）の範囲を想定する（図4-6参照）。 粒子状ベッドの堆積高さは、全炉心相当が落下した場合の堆積高さは1m以上となるが、破損口径の拡大を考慮しても33%以上の粒子化が想定されるため、0.3m以上とする。 圧力は、MCC Iが発生する時間では格納容器圧力は0.4MPa[abs]以上となっているため（図4-7a及び図4-7b参照）、0.4MPa[abs]以上とする。 <p>Lipinski 0-D モデルによる評価結果を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 図4-8aにドライアウト熱流束の圧力依存性を示す。上記のパラメータの範囲から、粒子径3mm、ポロシティ0.32の熱流束特性が、現実的な範囲内で保守側の特性と想定され、そのとき 	<p>(2) 熔融炉心の冷却過程</p> <p>原子炉下部キャビティ底に堆積した熔融炉心は、高温かつ崩壊熱による発熱状態であるが、周囲のコンクリート及び原子炉下部キャビティ水との伝熱により冷却される。前述のとおり、熔融炉心は一部が細粒化し、残りは連続層として原子炉下部キャビティ床に堆積するが、MAAPコードでは、原子炉下部キャビティに堆積した熔融炉心は、クラストと熔融プールから構成される平板状の発熱体として模擬される。</p> <p>熔融炉心と原子炉下部キャビティ水の伝熱</p> <p>熔融炉心から原子炉下部キャビティ水への伝熱は、熔融プールの表面に形成されるクラストに、原子炉下部キャビティ水によって亀裂が入り、その中に原子炉下部キャビティ水が浸入することによって行われる。</p> <p>MAAPコードの解析モデルでは、クラストから水への伝熱は沸騰熱伝達として扱っており、その熱流束はKutateladzeの式を用いて計算される。Kutateladzeの式は、水平面から飽和水へのプール沸騰（自然対流条件下の沸騰）における限界熱流束に関する整理式で、熔融炉心により加熱されることにより発生する水蒸気の上昇速度とプール水の落下速度のつり合う伝熱量を限界熱流束とする式である。Kutateladzeの式は、</p> $\frac{q}{L\rho_V} = C_K \left[\frac{\sigma g (\rho_L - \rho_V)}{\rho_V^2} \right]^{\frac{1}{4}}$ <p>で表される。qは熱流束、Lは蒸発の潜熱、σは表面張力、gは重力加速度、ρ_L及びρ_Vは液体及び蒸気の密度である。ここで、C_Kは係数であり、Kutateladzeは0.16を、Zuberは0.12～0.16の範囲、あるいは、$\pi/24$ (=0.131)を与えている。係数C_Kについては、経験的に決定する必要があることから、有効性評価の解析では、米国サンディア国立研究所(SNL)で実施された熔融物とコンクリートの相互作用及び熔融物冷却に関する実験であるSWISS実験において報告されている熔融体から水プールへの熱流束が0.8MW/m²であることに基づき$C_K=0.1$としている。また、実機条件においては、強度評価によってクラストは破損すると評価されており、上面水プールと熔融炉心が直接接触することによって、高い熱流束が維持されるといえる。</p> <p>Kutateladzeの式を原子炉下部キャビティ床に堆積した熔融炉心に対する限界熱流束の式として用いる場合、本来平板に適用する相関式を山状に堆積するクラストや粒子ベッドに適用することになるため、MAAPコードモデルには不確かさが存在する。クラストと水の界面は、諸外国での実験で示されているように、クラストに亀裂を生じており、そこに水が浸水することが考えられ、解析モデル上はその影響を考慮していないことから、不確かさを有すると言えるが、その場合、クラストと水の接触面が大きくなり、熔融炉心の冷却は促進されることから、クラストの亀裂に関しては、不確かさの観点では問題とならない。また、クラストの表面形状に凹凸が生じる可能性については、伝熱面積が大きくなるから、不確かさの観点では問題とならない。また、上面クラストの温度低下については、熔融炉心が冷却される方向であり、これについても不確かさの観点では問題</p>	<p>※粒子状ベッドの形成を想定した感度解析は7.2.4.11にて記載</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>の熱流束は、大気圧状態で800kW/m²程度となる。また、圧力が0.4MPa[abs]以上での下限値としては、ポロシティの最も小さい0.26のケースで800kW/m²程度のドライアウト熱流束となっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・図4-8bにドライアウト熱流束の粒子径依存性を示す。粒子径が3mm以上での下限値としては、ポロシティの最も小さい0.26のケースで800kW/m²程度のドライアウト熱流束となっている。 ・図4-8cにドライアウト熱流束の粒子ベッド高さ依存性を示す。粒子ベッド高さが、0.3m以上ではドライアウト熱流束はほとんど変化がなく、下限値としては、ポロシティの最も小さい0.26のケースで800kW/m²程度のドライアウト熱流束となっている。 <p>以上の粒子状ベッドから水への熱流束の不確かさ評価結果より、有効性評価条件として、大気圧状態で800kW/m²で圧力依存性を考慮した上面熱流束を使用することは、妥当と判断される。これは、MAAPコードのKutateladze式の係数F_{chf}をデフォルトの0.1に設定することに相当する。また、デブリ上面熱流束の不確かさの下限値は、800kW/m²程度と考えられるため、粒子径、ポロシティ等の不確かさによる上面熱流束の不確かさの影響を確認するため、800kW/m²一定を仮定した感度解析を実施する。</p> <p>なお、MAAPコードのF_{chf}のデフォルト値0.1は、安定クラストが形成されたSWISS実験の知見を元に設定されたものであるが、SSWICS実験の知見より実機では溶融物上面に安定なハードクラストは形成されず、クラストに生じる亀裂から冷却水が内部に浸入することで、デブリの冷却は促進されるものと考えられる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>体心立方格子 (ポロシティ 0.32)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>面心立方格子（最稠密） (ポロシティ 0.26)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図4-6 粒子の格子配列とポロシティ</p>	<p>とならない。一方、前述のとおり、溶融プール上にデブリ粒子が堆積することにより、クラストと水の接触が阻害され、溶融炉心の冷却が悪くなることも考えられる。解析モデルでは、このプロセスは模擬されず、熱伝達が悪化することから、不確かさが存在する。これらの不確かさとは、溶融炉心の冷却の悪化（熱伝達係数の低下）であるから、<u>熱伝達係数の感度を確認する。</u></p> <p>また、細粒化時の熱伝達については、デブリ粒子の顕熱及び潜熱から水プールへの伝熱が計算され、その伝熱量は膜沸騰及び輻射熱伝達によって計算される。デブリ粒子からの熱量は水蒸気生成と水の温度上昇に変換される。デブリ粒子から水への熱伝達については、細粒化割合と相関があることから、この不確かさについては「エントレインメント係数」の中で整理する。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

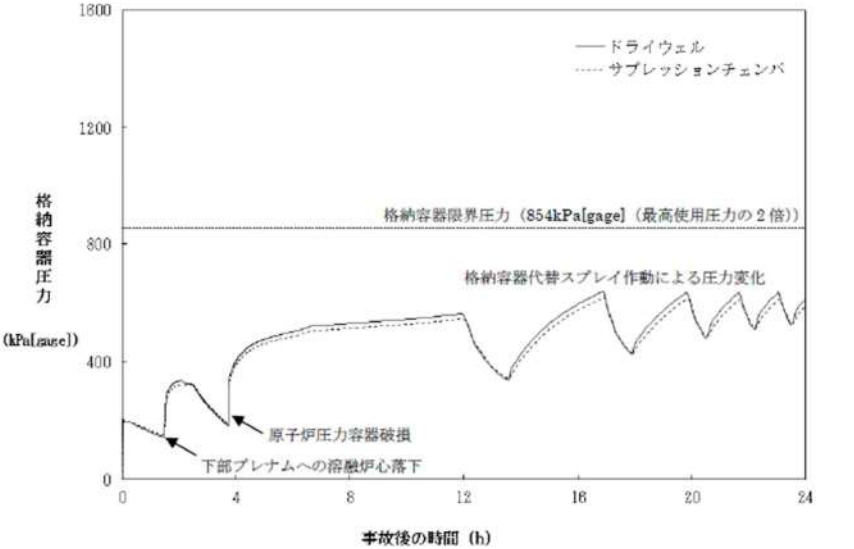
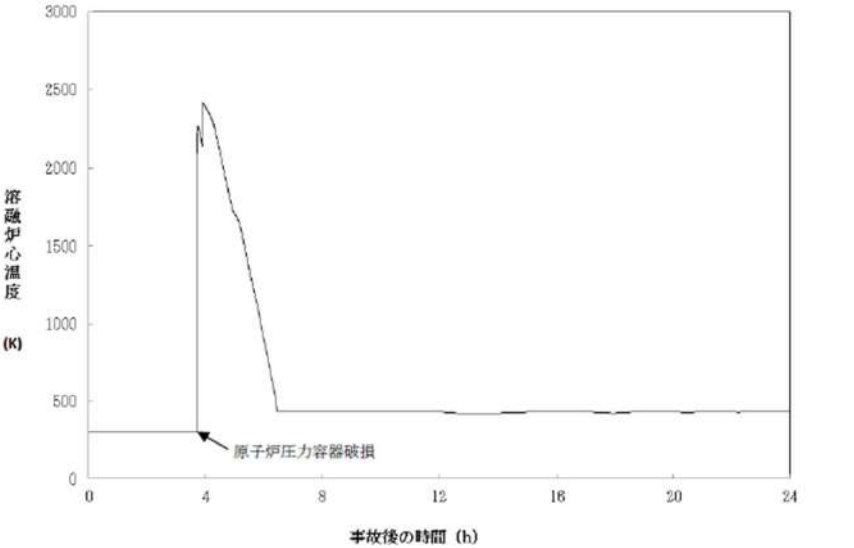
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>溶融炉心とコンクリートの伝熱</p> <p>原子炉下部キャビティ底に堆積した溶融炉心は、下側のコンクリート床と側面のコンクリート壁と伝熱する。溶融炉心からコンクリートへの伝熱は、溶融プールからクラストへの伝熱とコンクリートへの伝熱に分けられる。</p> <p>溶融プールとクラストとの間は、対流熱伝達によって伝熱される。対流熱伝達は、溶融プールのバルク温度と融点温度の差及び溶融プールと炉心クラストとの間の熱伝達係数から計算される。また、クラスト内の温度分布は、溶融炉心とクラストの境界からコンクリート表面への熱流束を用いて、準定常の1次元熱伝導方程式を解くことで計算される。溶融炉心からコンクリート床及び側壁に対する熱流束は、溶融炉心プールから下部及び側部クラストへの伝熱と、クラスト内での発熱によるものである。</p> <p>溶融プールとクラストとの間の熱伝達については、溶融プール内の状態（固化燃料の割合）に関する不確かさや対流の不確かさが存在する。溶融プールとクラストとの間の熱伝達が大い場合には、クラストが溶融し、コンクリートへの伝熱量が増大するため、コンクリート侵食がしやすくなる傾向となる。ただし、有効性評価の状態、即ち、原子炉下部キャビティへ注水した状態においては、溶融炉心からの除熱は、溶融炉心と温度差が大きい、冷却水側（上面）が支配的になることから、不確かさは存在するものの、影響としては小さいものとする。</p> <p>クラストとコンクリートの間の熱伝達については、ACE 実験及び SURC 実験に対するベンチマーク解析の結果から実験データと同等の侵食深さが MAAP コードにより模擬できていることから、溶融炉心からコンクリートへの伝熱は、適切に模擬できていると判断する。しかしながら、溶融炉心とコンクリートの接触に関しては MAAP コードでは、理想的な平板で密着した状態で取り扱っていることから、接触面積に不確かさが存在する。接触面積が小さいとコンクリートへの伝熱量が小さくなることが考えられ、解析モデル上はその影響を考慮していないことから、不確かさを有すると言えるが、その場合、クラストとコンクリートの接触面が小さくなり、コンクリート侵食が抑制されることから、接触面積に関しては、不確かさの観点で問題とならない。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図 4-7a MCCI 評価時の格納容器圧力</p>  <p>図 4-7b MCCI 評価時の溶融炉心温度</p>		