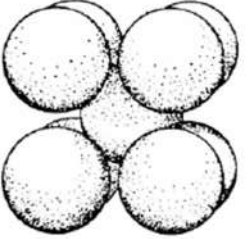
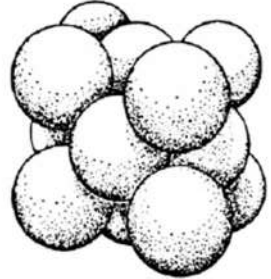


赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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

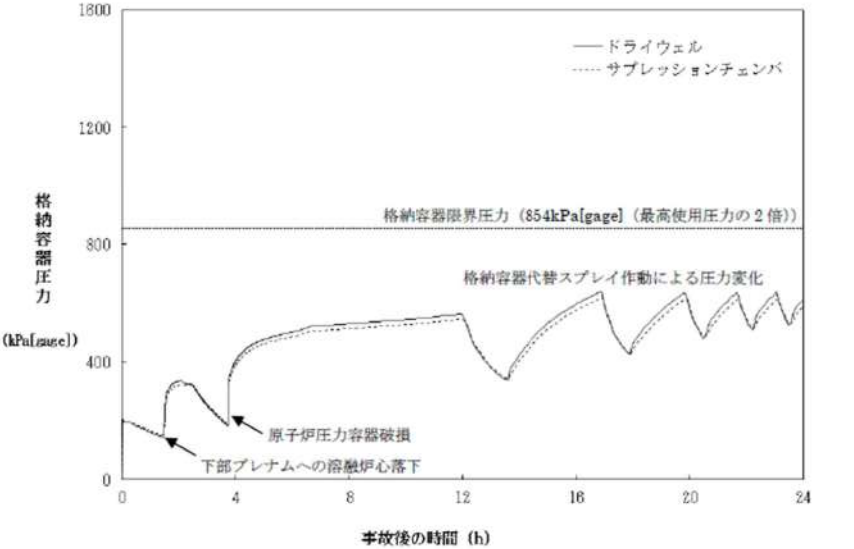
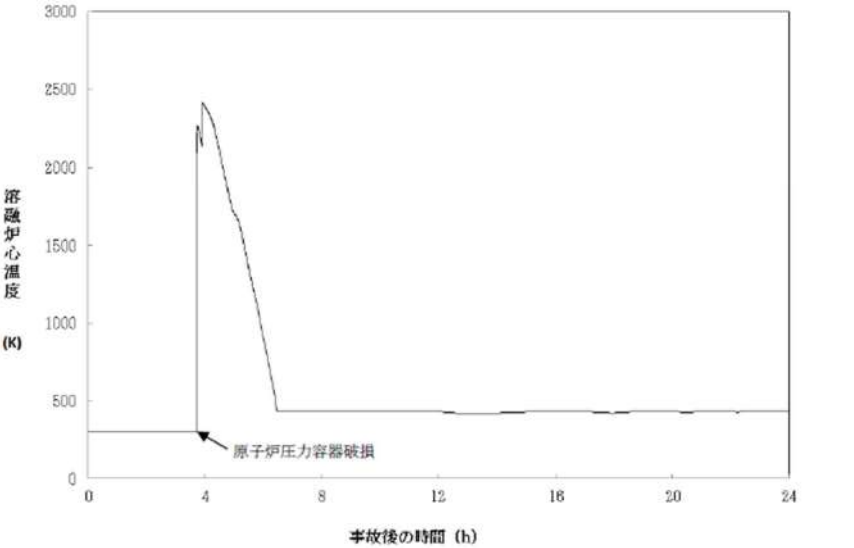
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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きき場合には、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

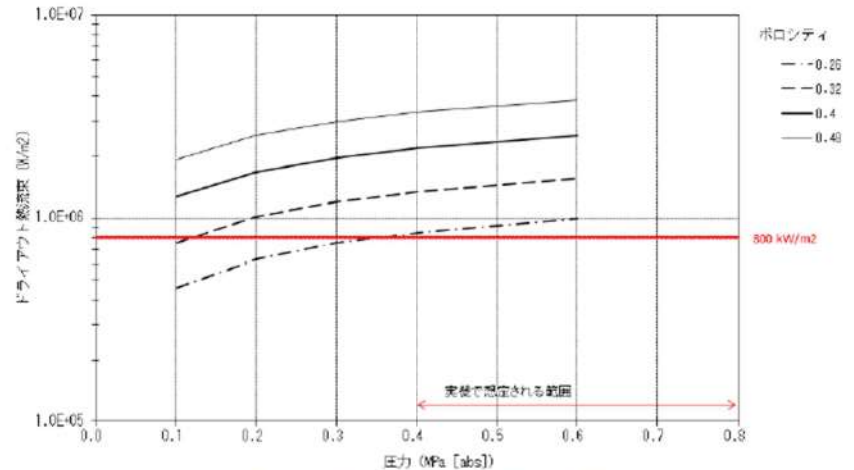
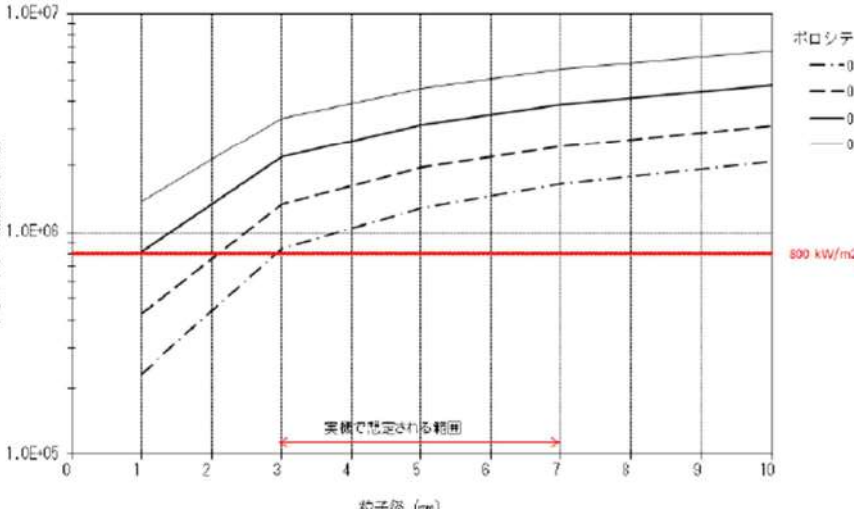
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図4-7a MCCI評価時の格納容器圧力</p>  <p>図4-7b MCCI評価時の熔融炉心温度</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="403 191 806 215">Lipinski 0-D モデル, 粒子径: 3mm, 粒子状ベッド高さ: 0.5m</p>  <p data-bbox="403 710 806 774">図 4-8a 圧力とドライアウト熱流束の関係 (Lipinski 0-D モデル)</p> <p data-bbox="403 782 896 805">Lipinski 0-D モデル, 圧力: 0.4 MPa(abs), 粒子状ベッド高さ: 0.5m</p>  <p data-bbox="403 1356 806 1420">図 4-8b 粒子径とドライアウト熱流束の関係 (Lipinski 0-D 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 style="text-align: center;">Lipinski 0-D モデル, 圧力: 0.4 MPa(abs), 粒子径: 3 mm</p> <p style="text-align: center;">図 4-8c 粒子状ベッド高さ とドライアウト熱流束の関係 (Lipinski 0-D 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>コンクリート侵食</p> <p>コンクリートの種類（玄武岩系や石灰岩系）により、侵食挙動やガス発生挙動が異なる。また、玄武岩系コンクリートに関しては、壁方向と床方向の侵食量に相違が見られる知見が出ている。床方向に大きく侵食する結果（付録1(3)BETA 実験参照）と壁方向に大きく侵食する結果（付録2(5)OECD/MCCI 実験のCCI-1/3 実験参照）があり、この侵食の異方性は、いまだ十分な理解が得られておらず、現状モデルでも扱われていない。また、実験ではドライ条件において侵食の異方性が確認されており（CCI-1/3 実験では、最初ドライ条件で侵食させている）、実機のウェット条件でもこの侵食の異方性が発生するかは不明であるが、念のためモデルパラメータの感度解析により、この侵食異方性の影響を検討する。</p> <p>評価モデル：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面から深さ方向に一次元熱伝導を解き温度分布を計算している。 ・クラストーコンクリート界面の温度がコンクリート融点以上である場合にコンクリート侵食が計算される。 ・コリウムからの伝熱量と分解/溶融潜熱により侵食量を評価する。 ・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る未酸化金属との反応により H₂ 及び CO 発生が計算される。反応熱は、溶融炉心の崩壊熱に加算される。 <p>評価条件：コンクリートの種類には、玄武岩系や石灰岩系があり、プラントに使用されているコンクリートの種類により組成や物性値を使い分けている。表 4-1 にコンクリートの物性値、表 4-2 にコンクリートの組成例を示しており、これらをMAAPの入力としている。融点は石灰岩系コンクリートの方が高いが、比熱は石灰岩系コンクリートの方が小さい。コンクリート成分は骨材（aggregate）の種類に影響され、玄武岩系コンクリート（Basaltic）の成分はSiO₂が主体であるが、石灰岩系コンクリート（Limestone）では、CaCO₃が主体である。</p> <p>コンクリートの侵食モデルは、主にSURC 実験やACE/MCCI 実験の一次元侵食の実験や、BETA 実験の二次元侵食のドライ実験に対して検証されている（付録1参照）。なお、コンクリート侵食モデルは、コンクリート表面から侵食深さ方向に一律に侵食する扱いをしているのに対し、実験で得られた侵食深さは、一般的に侵食面で一律ではない。このため、コンクリート侵食モデルの検証では、実験の平均的な侵食深さと比較して侵食速度が良く一致していることが確認されている。</p> <p>侵食面での侵食の不均一性とMAAPコードの一律侵食との関係を見るため、SURC-4 実験（一次元侵食）に対するMAAPコードのベンチマーク解析で得られた侵食深さに対して、実験で得られた侵食深さがどの程度の幅にあるかを確認した結果を図4-9に示すが、実験で得られた侵食深さは、MAAPコードによる予測侵食量に対しておおむね±20%程度の範囲にある。同様にBETA-V5.1 実験（二次元侵食）に対して確認した結果を同図に示すが、この場合もおおむね±</p>	<p>(3) コンクリートの侵食過程</p> <p>前項で述べたとおり、溶融炉心の冷却過程において、溶融炉心からクラストへの伝熱があり、クラスト内部の1次元の熱伝導方程式を解き、コンクリート表面温度を計算している。コンクリートへの熱流束が十分大きく、コンクリート温度が融解温度を上回る場合に侵食が発生する。コンクリートが融解すると、ガス（水蒸気及び二酸化炭素）が発生し、溶融プールに侵入して金属との化学反応が発生し、反応熱が発生するとともに、生成された非凝縮性ガスが原子炉格納容器内に放出され、原子炉格納容器内を加圧する要因となる。また、コンクリートのスラグも溶融プールに侵入し、ウラン及びジルコニウム等との混合物となる。スラグが混入することにより、溶融炉心の融点が低下する傾向となる。</p> <p>コンクリートの組成</p> <p>コンクリートには主に玄武岩系のコンクリートと石灰岩系のコンクリートがある。コンクリート組成が異なると、コンクリート侵食挙動にも違いが生じる。玄武岩系のコンクリートの特徴はSiの含有量が多い。一方、石灰岩系のコンクリートの特徴はCa、CO₂が比較的多く含まれていることである。しかしながら、コンクリート組成については、物性値が把握できており、不確かさに対する感度解析は不要である。</p>	<p>※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方の6.5.9に記載</p> <p>※異方性の影響は“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”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 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>20%程度の範囲にある。従って、実験における侵食面での侵食深さは、MAAPコードによる予測侵食量のおおむね±20%程度の範囲にあると考えられる。</p> <p>また、壁方向と床方向の二次元侵食を調べる OECD/MCCI プロジェクトのCCI実験では、石灰岩系コンクリート (CCI-2 実験) と玄武岩系コンクリート (CCI-1 実験, CCI-3 実験) の侵食挙動が調べられている。</p> <p>石灰岩系コンクリート (CCI-2 実験) では、壁方向と床方向に等方的に侵食している。一方、玄武岩系コンクリート (CCI-3 実験) では、壁方向と床方向の侵食の異方性が確認されており (付録2 参照)、玄武岩系コンクリートの壁方向と床方向の侵食速度の相違から、壁方向の熱流束が、床方向の熱流束の約4倍程度大きいと推定されている。なお、同様に玄武岩系コンクリートが使われた CCI-1 実験では、加熱条件が他の実験と異なり高く設定されていたため、代表性があるとは見なされず、侵食挙動の分析やベンチマーク解析には、CCI-3 実験の結果の方が使われている。玄武岩系コンクリートの壁方向と床方向の侵食の異方性のメカニズムに関しては、明確な理解は得られていないが、CCI-3 実験に対するMAAPコードのベンチマーク解析^[35]において、壁方向への熱流束が床方向の4倍程度大きくなるように熔融プールからの対流熱伝達係数を設定することにより、実験の侵食挙動と良く一致する解析結果が得られている。この場合も、実験の侵食深さは、MAAPコードの予測侵食量に対して、上記のSURC-4 実験及びBETA-V5.1 実験のベンチマーク解析で設定した20%以内の侵食深さに収まっている (図4-10 参照)。以上のMAAPコードのベンチマーク解析の分析から、コンクリート侵食の不確かさについて、以下のことが言える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・侵食面における侵食深さのばらつきは、MAAPコードの予測侵食量の20%以内に入っている。 ・玄武岩系コンクリートの壁方向と床方向の侵食の異方性は、MAAPコードにおいて熔融プールからの対流熱伝達係数を変更することにより予測可能である。その場合も侵食のばらつきは、MAAPコードの予測侵食量の20%以内に入っている。 <p>以上のことから、コンクリート侵食の不確かさに関して、侵食面における侵食深さの不均一性については、おおむねMAAPコードによる予測侵食量の20%の範囲内であることがわかった。一方、玄武岩系コンクリートの壁方向と床方向の侵食の異方性については、実機における影響の確認のため感度解析が必要と考えられ、CCI-3 実験のベンチマーク解析を参考にして、熔融プールから壁方向と床方向の対流熱伝達係数を調整して感度解析を実施する。壁方向の熱配分の最大ケースとして、床方向の4倍として感度解析を行い、コンクリート侵食の壁方向と床方向の異方性の影響を確認する。</p> <p>以上の各過程での、MCCI現象の影響因子と感度解析パラメータの関係を図4-11 に示し、不確かさ要因、有効性評価の扱い及び感度解析の要否を表4-3 に整理する。また、熔融炉心とコンクリートの相互作用における実機で想定される現象と解析上の取り扱いの比較を図4-12 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

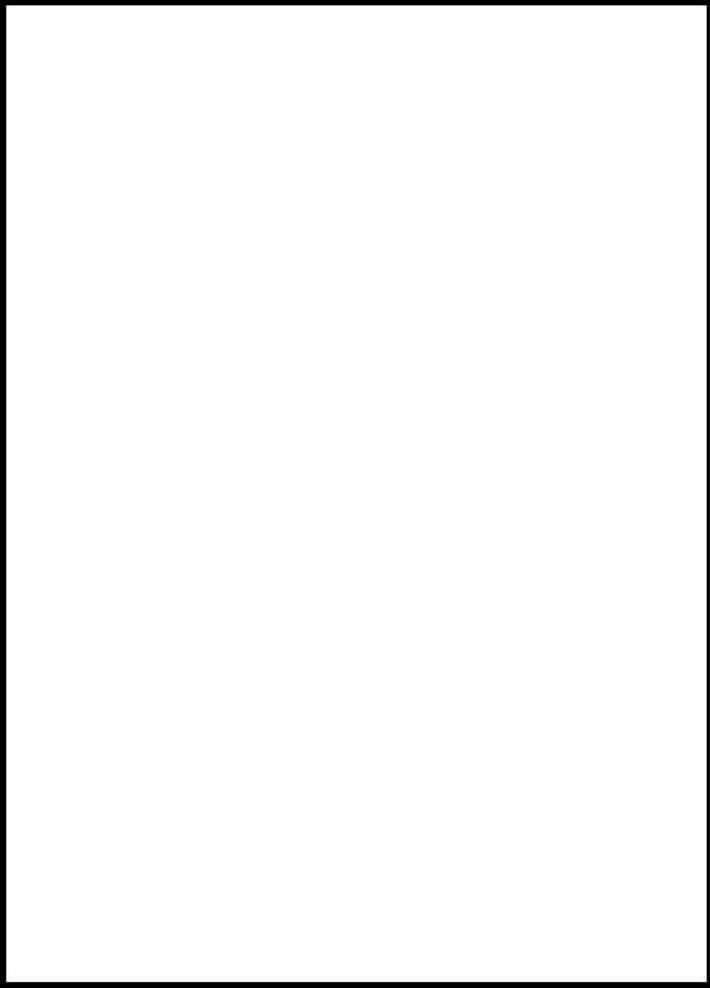
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉			泊発電所3号炉	相違理由
表4-1 コンクリートの物性比較 (MAAP入力)				
項目	玄武岩系コンクリート	石灰岩系コンクリート		
コンクリート組成	SiO ₂ が主体	CaCO ₃ が主体		
液相線温度 (K)				
固相線温度 (K)				
比熱 (J/kg-K)				
熔融潜熱 (J/kg)				
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> 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>				
表4-2 代表的なコンクリートの組成例 (重量%) ^[37]				
成分	玄武岩系コンクリート	石灰岩系コンクリート		
SiO ₂	54.84	3.60		
TiO ₂ , MnO, MgO	7.21	5.80		
CaO	8.82	45.40		
Na ₂ O	1.80	0.0078		
K ₂ O	5.39	0.68		
Fe ₂ O ₃	6.26	1.20		
Al ₂ O ₃	8.32	1.60		
Cr ₂ O ₃	0.00	0.004		
CO ₂	1.50	35.698		
H ₂ O (自由水, 結合水)	5.86	5.94		

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="152 177 555 252" 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="215 272 922 1264" style="border: 2px solid black; height: 600px; margin-top: 20px;">  </div> <div data-bbox="271 1294 920 1321" style="margin-top: 10px;"> <p>図4-9 SURC-4 と BETA-V5.1 実験と MAAP4 コード予測の侵食量の比較^[23]</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 data-bbox="152 204 555 272" 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="255 344 918 868" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="320 882 866 912" data-label="Caption"> <p>図4-10 OCI-3 実験（玄武岩系コンクリート）の侵食深さ^[12]</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

女川原子力発電所2号炉		泊発電所3号炉		相違理由
<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>				
<p>表 4-3 MCCI 評価の不確かさに関する整理結果</p>				
MCCI現象への影響因子	不確かさ要因	有効性評価の根拠	感度解析の要否	
下部ヘッド破損モード	破損部位 破損口侵食拡大	下部ヘッド貫通部の中で最も大口径の割御機動機構ハウジングの割御破損を想定し、破損口径の拡大を考慮	下部ヘッド貫通部の中で最も大口径の貫通部の破損を想定し、破損口径の拡大も考慮しているため、感度解析不要。	
溶融炉心落下量	原子炉圧力容器内溶融進展	全炉心相当を想定	全炉心相当の最も厳しい落下量を想定しているため、感度解析不要。	
溶融炉心の粒子化	プール水深	ベジスタルの注水開始条件及び注水流量について、手順書規定に準じた操作を想定	解析モデルパラメータではないため、感度解析不要。	
	エントレインメント係数	実験解析を元に、粒子化割合を少ない側に評価する値を使用	エントレインメント係数に不確かさがあるため、MAAPコードの不確かさ範囲内 (FARO 実験解析に基づく) で感度解析を実施。	
溶融炉心の拡がり	溶融炉心ジェット径	破損口径に対応した径を考慮	最も大きい径を想定して、粒子化割合を小さくし、水に落下した際のデブリジェット径を小さくして厳しい側の扱いをしているため、感度解析不要。	
デブリから水への熱伝達	水による拡がり抑制	拡がりの知見から、全面に拡がることを想定し、均一増熱モデルを使用	溶融炉心の拡がりを抑制した場合を想定し、水張り深さ等の個別プラントの状況を踏まえた感度解析等の取り扱いは行うことが必要。	
コンクリート種類 (玄武岩系コンクリートの侵食の異方性)	デブリ上面の性状	粒子体ベットの熱伝達として、現実的な範囲内で保守側の想定をして、大気圧状態で80%程度として圧力依存性を考慮	粒径やボロシニアの不確かさを考慮して、下限の熱伝達に対して感度解析を実施。	
	壁方向と床方向の熱分配	壁方向として、壁方向クラスタスへは壁方向クラスタスへは使用	床方向と壁方向の侵食の異方性の影響を見るため、CCI-3実験で確認された熱分配比率を想定した感度解析を実施。	
<p>表 4-1 MCCI の不確かさに関する整理結果 (1/2)</p>				
影響因子	実機での実現象	解析上の取扱い	感度解析条件	
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-ジヤングシモンモデルに従い、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)	
エントレインメント量	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、Ricou-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. (2) にて感度解析実施)	
デブリジェット径	破損口を侵食しながらデブリジェットが流出すると想定される。	ジェット径は初期破損口径から破損口の侵食を考慮して評価される。	エントレインメント係数 (5. (2) にて感度解析実施)	
溶融炉心落下速度	破損口径、原子炉容器内外圧力差、重力から決まると想定される。	落下速度は、破損口径、原子炉容器内外圧力差、重力から評価される。	エントレインメント係数 (5. (2) にて感度解析実施)	
堆積したデブリ粒子	連続層として原子炉下部キャビティ床面に堆積した溶融炉心の上に粒子状ベットの層が堆積すると想定される。あるいは、連続層の溶融炉心の中に巻き込まれると想定される。	連続層の溶融炉心と区別なく、平板状の凝熱体として評価される。	水-溶融炉心間の熱伝達係数 (5. (4) にて感度解析実施)	
溶融炉心の拡がり及び堆積形状	溶融炉心が過熱度を持ち断続的に原子炉下部キャビティ床に落下すること等から、原子炉下部キャビティ床面積相当に拡がると想定される。	床面積全面に一樣に拡がるとして、原子炉下部キャビティ床面積設計値を入力する。	溶融炉心の拡がり面積 (5. (3) にて感度解析実施)	

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4-1 MCCIの不確かさに関する整理結果 (2/2)																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1131 215 1160 470">影響因子</th> <th data-bbox="1160 215 1276 470">実機での実現象</th> <th data-bbox="1276 215 1393 470">解析上の取扱い</th> <th data-bbox="1393 215 1668 470">感度解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1131 470 1160 774">水と溶融炉心の伝熱</td> <td data-bbox="1160 470 1276 774">実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、溶融プールと水が直接接触することによって冷却が促進すると想定される。</td> <td data-bbox="1276 470 1393 774">平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。</td> <td data-bbox="1393 470 1668 774">水—溶融炉心間の熱伝達係数（5.（4）にて感度解析実施）</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1131 774 1160 1077">上面クラスタの亀裂、表面形状及び温度低下</td> <td data-bbox="1160 774 1276 1077">実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、クラスタ表面で凹凸も生じると想定される。</td> <td data-bbox="1276 774 1393 1077">平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。</td> <td data-bbox="1393 774 1668 1077">MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1131 1077 1160 1316">溶融プールと下面及び側面クラスタ間の伝熱</td> <td data-bbox="1160 1077 1276 1316">溶融プール内の対流によって下面及び側面クラスタへ伝熱すると想定される。</td> <td data-bbox="1276 1077 1393 1316">対流熱伝達相関式によって評価される。</td> <td data-bbox="1393 1077 1668 1316">原子炉下部キャビティ注水あり条件ではMCCIへの影響が小さいため、感度解析不要</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1131 1316 1160 1453">下面クラスタとコンクリートの接触面積</td> <td data-bbox="1160 1316 1276 1453">下面クラスタ内の熱伝導によってコンクリートへ伝熱すると想定される。</td> <td data-bbox="1276 1316 1393 1453">境界温度と熱伝導方程式によって評価される。</td> <td data-bbox="1393 1316 1668 1453">MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1131 1453 1160 1572">コンクリート組成</td> <td data-bbox="1160 1453 1276 1572">コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。</td> <td data-bbox="1276 1453 1393 1572">コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。</td> <td data-bbox="1393 1453 1668 1572">物性値が把握できており、感度解析不要</td> </tr> </tbody> </table>	影響因子	実機での実現象	解析上の取扱い	感度解析条件	水と溶融炉心の伝熱	実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、溶融プールと水が直接接触することによって冷却が促進すると想定される。	平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。	水—溶融炉心間の熱伝達係数（5.（4）にて感度解析実施）	上面クラスタの亀裂、表面形状及び温度低下	実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、クラスタ表面で凹凸も生じると想定される。	平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。	MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要	溶融プールと下面及び側面クラスタ間の伝熱	溶融プール内の対流によって下面及び側面クラスタへ伝熱すると想定される。	対流熱伝達相関式によって評価される。	原子炉下部キャビティ注水あり条件ではMCCIへの影響が小さいため、感度解析不要	下面クラスタとコンクリートの接触面積	下面クラスタ内の熱伝導によってコンクリートへ伝熱すると想定される。	境界温度と熱伝導方程式によって評価される。	MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要	コンクリート組成	コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。	コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。	物性値が把握できており、感度解析不要	
影響因子	実機での実現象	解析上の取扱い	感度解析条件																							
水と溶融炉心の伝熱	実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、溶融プールと水が直接接触することによって冷却が促進すると想定される。	平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。	水—溶融炉心間の熱伝達係数（5.（4）にて感度解析実施）																							
上面クラスタの亀裂、表面形状及び温度低下	実機スケールでは、溶融炉心の上面に形成されるクラスタには亀裂が生じ、クラスタ表面で凹凸も生じると想定される。	平板状の凝熱体に対して、Kutateladzeの相関式によって評価される。	MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要																							
溶融プールと下面及び側面クラスタ間の伝熱	溶融プール内の対流によって下面及び側面クラスタへ伝熱すると想定される。	対流熱伝達相関式によって評価される。	原子炉下部キャビティ注水あり条件ではMCCIへの影響が小さいため、感度解析不要																							
下面クラスタとコンクリートの接触面積	下面クラスタ内の熱伝導によってコンクリートへ伝熱すると想定される。	境界温度と熱伝導方程式によって評価される。	MCCIを促進する取扱いのため、感度解析不要																							
コンクリート組成	コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。	コンクリートが分解温度に達すると吸熱量に応じて食食を開始し、その過程で組成に応じて非凝縮性ガスが放出されると想定される。	物性値が把握できており、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 style="text-align: center;">【参考のため掲載順を入替え】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">実機で想定される現象</p> <p>下部ヘッド破損口を溶融炉心が通過する際に破損口側面が溶かされ、破損口が拡大する。</p> <p>溶融物が水中を落下する過程で粒子化する。この際デブリ粒子のクエンチにより水蒸気が発生し、デブリ粒子の酸化による水蒸気発生が促進される。</p> <p>水深が浅い場合は、溶融物は完全に粒子化せず、床の上に溶融炉心が堆積する。水により破損口が堆積される。不均一に堆積する。上面の性状により水への熱伝達が大きく影響される。</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">解析上の取り扱い</p> <p>下部ヘッド破損口を溶融炉心が通過する際の破損口側面が溶かされる。破損口が拡大する。</p> <p>溶融物が水中を落下する過程で粒子化を促進。粒子化割合は Ricou Spalding モデルにより評価。この際デブリ粒子のクエンチによる水蒸気発生と、デブリ粒子の酸化による水蒸気発生を模擬。</p> <p>溶融炉心は、床上で均一に堆積し、均一に混合して外周部のクラスト層と中心部の溶融プールの層から構成される。表面の高温状態として、上面の溶融炉心は、床表面層を形成し、床表面層の熱伝達を向上させる。不均一に堆積する。不均一に堆積する。不均一に堆積する。不均一に堆積する。</p> <p>コンクリート種類に応じ、玄武岩系や石灰岩系を考慮可能。溶融プールのクラスト層への熱伝達係数を変更することにより、熱伝達係数の異なりを評価可能。</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図 4-12 溶融炉心とコンクリートの相互作用における実機で想定される現象と解析上の取り扱いの比較</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">実機で想定される現象</p> <p>破損口を溶融炉心が通過する際に、溶融炉心により破損口の側面が溶かされ、破損口が拡大する。</p> <p>溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下した時、水プールとの運動量交換に伴うエンタレインメントにより粗粒化する。粗粒化モデルは Ricou-Spalding モデルをベースにしたモデル。</p> <p>水深が相対的に浅いため、溶融炉心は完全に粒子化せず、床面上に溶融炉心が堆積し、床面に破損口が形成される。破損口の側面が溶かされ、破損口が拡大する。</p> <p>原子炉下部キャビティ内に堆積した溶融炉心とデブリ粒子は均一に混合し、クラストと溶融プールから構成される平板状の美態として模擬している。</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">計算モデルの扱い</p> <p>破損口を溶融炉心が通過する際に、溶融炉心により破損口の側面が溶かされ、破損口が拡大する。</p> <p>溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下した時、水プールとの運動量交換に伴うエンタレインメントにより粗粒化する。粗粒化モデルは Ricou-Spalding モデルをベースにしたモデル。</p> <p>原子炉下部キャビティ内に堆積した溶融炉心とデブリ粒子は均一に混合し、クラストと溶融プールから構成される平板状の美態として模擬している。</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図 4-1 溶融炉心伝熱の想定される現象と解析上の取り扱いとの比較概念図 (1/2) 原子炉下部キャビティでの溶融炉心挙動</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

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;"> <div data-bbox="1142 949 1176 1173" style="writing-mode: vertical-rl;">実機で想定される現象</div> <div data-bbox="1254 917 1680 1189"> </div> <div data-bbox="1142 550 1176 726" style="writing-mode: vertical-rl;">計算モデルの扱い</div> <div data-bbox="1254 255 1825 758"> </div> </div> <p data-bbox="1388 1228 1635 1412">溶融炉心上面からクラスタが形成されるが、自重あるいは熱応力によって破砕していく。このため溶融炉心は急速に冷却されていく。その後、溶融物は破砕クラスタとなって固化する。上には粒子ベッドとケーシングが存在する。</p> <p data-bbox="1265 263 1344 438">上部クラスタから上部水プールへはKutateladzeの熱伝達相関式を考慮。</p> <p data-bbox="1377 263 1534 438">溶融プールの状態は、その温度に応じて、溶融と固層の割合が計算され、溶融は内部の溶融プール、固層は外部のクラスタとして取り扱っている。</p> <p data-bbox="1657 255 1814 686">溶融炉心からコンクリートへの伝熱により、コンクリート温度がコンクリート融解温度を超えると蒸気が開始する。クラスタからコンクリートへの熱流速が、コンクリート内部の熱伝導を上回る場合にコンクリート温度は上昇する。また、溶融炉心の冷却が進み、コンクリート温度の方が高くなる場合には、コンクリートから溶融炉心への伝熱も仮定している。</p>	<p data-bbox="2004 135 2094 167">相違理由</p> <p data-bbox="1825 502 1892 1173">図4-1 溶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 (2/2) 溶融炉心と冷却水及びコンクリートとの相互作用</p>

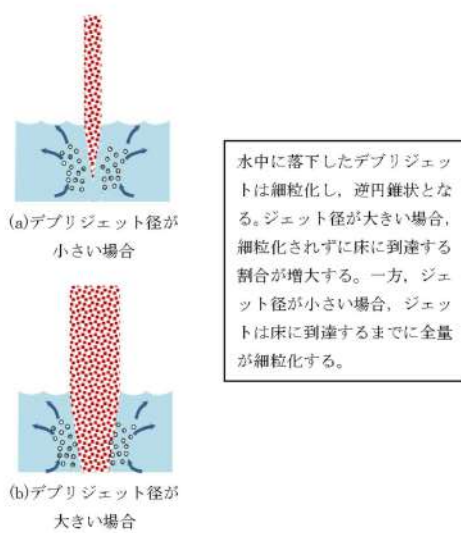
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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;">図 4-11 MCCI における不確かさに関する流れ図</p>	<p style="text-align: center;">図 4-2 MCCI 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

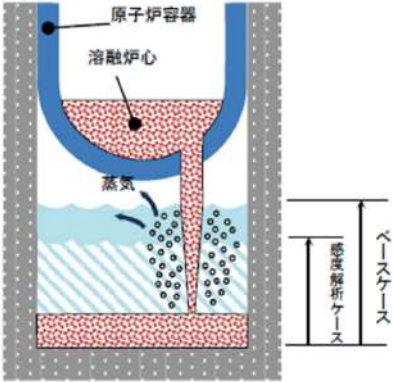
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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;">  <p>(a)デブリジェット径が小さい場合</p> <p>(b)デブリジェット径が大きい場合</p> <p>水中に落下したデブリジェットは細粒化し、逆円錐状となる。ジェット径が大きい場合、細粒化されずに床に到達する割合が増大する。一方、ジェット径が小さい場合、ジェットは床に到達するまでに全量が細粒化する。</p> </div> <p>図4-3 デブリジェット径と細粒化量の関係</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>5. 感度解析と評価</p> <p>ベデスタル床上の熔融炉心の堆積高さが高い方が、熔融炉心の冷却性が悪くなり、MCCIの影響が厳しくなる。国内BWRでは、全炉心が落下した場合には、熔融炉心の堆積高さはMark-I改やMark-IIで約1m程度であり、ABWRでは約0.5m程度である。このため、ここでは、熔融炉心の堆積高さの高いBWR5 Mark-I改プラントを対象に感度解析を行う。前節の検討を踏まえ、BWR5 Mark-I改プラントの大LOCAシーケンスを対象に抽出されたパラメータの感度解析を実施した。</p> <p>また、ガスの発生の影響を見るために参考解析として石灰岩系コンクリートを想定した解析も実施した。</p>	<p>5 感度解析と評価</p> <p>前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。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、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よりも30分遅くなることを想定する。この場合、原子炉下部キャビティへの注水も遅れ、原子炉下部キャビティ内での熔融炉心冷却に影響を与える可能性がある。</p> <table border="1" data-bbox="1077 746 1944 911"> <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>炉心熔融後 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>ベースケース+30分</td> <td>ベースケースより更に30分遅くなることを想定</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	炉心熔融後 30分	運転員等操作余裕時間として設定	感度解析ケース	ベースケース+30分	ベースケースより更に30分遅くなることを想定	<p>※PWRでは事前に水張りを実施することから感度解析が必要となるため記載</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	炉心熔融後 30分	運転員等操作余裕時間として設定									
感度解析ケース	ベースケース+30分	ベースケースより更に30分遅くなることを想定									

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>解析結果</p> <p>図5-1-1～5-1-9に、原子炉下部キャビティ水深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溶融後30分以降に現れる。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30分遅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深がベースケースに比べて約半分に減少する。しかしながら、原子炉容器が破損し、溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下して以降は、ベースケースと感度解析ケースで大きな違いはなく、コンクリート侵食深さはベースケースが約3mm、感度解析ケースが約4mmとなった。</p> <p>デブリジェット径は原子炉容器破損口径に相当し、原子炉容器破損後に溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下するのに対応して、原子炉容器下部ヘッドが侵食して破損口径が拡大していく。事故発生後約2.8時間には原子炉容器の2回目の破損が生じ、その破損口から溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下し、破損口径が拡大していく。この現象については、ベースケースと感度解析ケースで大きな違いはない。破損口径は、溶融炉心による侵食により40～60cmまで早期に拡大する。また、原子炉下部キャビティ水位は、原子炉容器破損以降、0.5～2mの範囲にある。この水位及びジェット径をDEFOR実験の知見（図3.1-34）に適用する。原子炉下部キャビティ水位が図の範囲外であるものの、外挿すると、実機ではデブリジェットはほぼケーキ状に堆積することが分かる。</p> <p>評価</p> <p>原子炉下部キャビティ水深のコンクリート侵食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

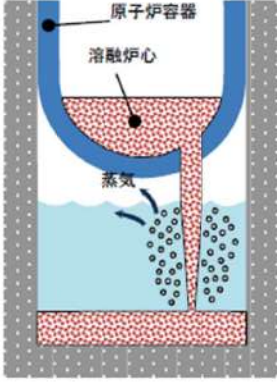
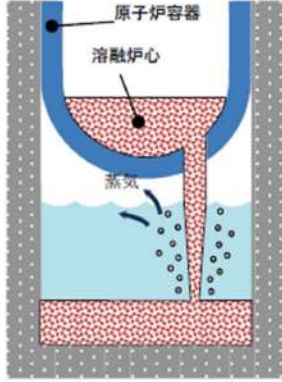
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																	
<p>(1) エントレインメント係数の感度解析</p> <p>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FARO実験解析を元に設定されている当該変数の不確かさ範囲のうち、最小値である [] と最大値である [] の感度解析を実施する。感度解析ケースを表5-1に示す。解析結果を図5-1-1a、図5-1-1b、図5-1-2a、図5-1-2b及び表5-5に示す。</p> <p>エントレインメント係数が小さいと粒子化割合が減り、落下時のクエンチによる除熱量が減るため、床に堆積する熔融炉心の温度はベースケースより高めに推移し、コンクリートへの伝熱量も増加するため、侵食量は若干増えている。エントレインメント係数が大きいと粒子化割合が増えて逆のことが起こり、侵食量は若干減少している。</p> <p>エントレインメント係数の不確かさ幅の範囲では、コンクリート侵食量への影響は小さい。</p> <p style="text-align: center;">表5-1 エントレインメント係数のベースケースと感度解析ケース</p> <table border="1" data-bbox="152 1040 1034 1241"> <thead> <tr> <th>パラメータ</th> <th>ベースケース (有効性評価)</th> <th>感度解析ケース</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① エントレインメント係数</td> <td>[]</td> <td>(1) [] (小) (2) [] (大)</td> <td>(1) MAAP 不確かさ範囲*の最小値 (2) MAAP 不確かさ範囲*の最大値 *FARO 実験解析を元に設定</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="636 1289 1034 1353" 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>	パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠	① エントレインメント係数	[]	(1) [] (小) (2) [] (大)	(1) MAAP 不確かさ範囲*の最小値 (2) MAAP 不確かさ範囲*の最大値 *FARO 実験解析を元に設定	<p>(2) Ricou-Spaldingのエントレインメント係数</p> <p>解析条件</p> <p>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、原子炉下部キャビティ底に直接落下する塊状の熔融炉心を多くして、コンクリートが加熱されやすくなるよう、MAAPコードの当該変数の推奨範囲 []、[] のうち最も小さい値、即ち、細粒化割合が小さ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が、デブリジェット径が大きいこととエントレインメント係数が小さいことは等価といえるため、デブリジェット径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する。また、熔融炉心の過熱度が大きい場合には、冷却されずに原子炉下部キャビティ床に堆積し、凝集状態になるが、このような状況についてもエントレインメント係数が小さい場合に相当し、熔融炉心の過熱度の不確かさもエントレインメント係数の不確かさとして評価することができる。</p> <table border="1" data-bbox="1066 1040 1951 1161"> <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小値</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="1637 1222 1939 1289" 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	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小値	
パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠																
① エントレインメント係数	[]	(1) [] (小) (2) [] (大)	(1) MAAP 不確かさ範囲*の最小値 (2) MAAP 不確かさ範囲*の最大値 *FARO 実験解析を元に設定																
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="display: flex; justify-content: space-around;"> <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>エントレインメント係数を小さく設定し、原子炉下部キャビティ底に直接落下する塊状の溶融炉心を多くする。</p> <p>解析結果</p> <p>図5-2-1～5-2-10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容器破損以降に現れる。溶融炉心が原子炉下部キャビティに落下する時点（1.5時間）で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小さいことから、溶融炉心の細粒化量が少なく、塊状のまま原子炉下部キャビティに落下する溶融炉心の量が増加していることが分かる。溶融炉心のエントレインメント割合を比較すると、ベースケースでは約0.2であるのに対して、感度解析ケースでは、約0.1となっている。したがって、溶融炉心のうち、大半は連続層として原子炉下部キャビティ床に堆積し、落下中に細粒化する溶融炉心は一部であると言える。また、図5-2-10に表示しているエントレインメント割合は溶融炉心の落下中の値であり、床面に堆積する粒子状ベッドの割合は、DEFOR試験の結果から、更に小さくなると考えられる。なお、MAAPコードでは、細粒化された溶融炉心は連続層の溶融炉心と混合された状態で原子炉下部キャビティ床に堆積し、溶融炉心とクラストからなる平板上の発熱体として模擬している。</p> <p>溶融炉心と水の熱流束を比較すると、約1.5時間以降は、ベースケースと感度解析ケースとでピーク値は同等であるが、感度解析ケースでは、高い熱流束の継続時間がわずかに長く、溶融炉心の冷却に要している結果となっている。次のピークについては、ベースケースと感度解析ケースとで大きく異なり、感度解析ケースにおいて高いピークが表れているが、これは、エントレインメント係数を小さくすることで、細粒化されずに塊状のまま原子炉下部キャビティ床に到達した溶融炉心が多くなっていることによる。以下、同様の傾向となっている。なお、水と溶融炉心間の熱流束が約1.3MW/m²の時間帯と約0.5MW/m²の時間帯に分かれているのは、時間帯によって原子炉下部キャビティに落下した溶融炉心の保有熱が異なるためである。熱流束が大きい（約1.3 MW/m²）時間帯は、溶融炉心が多量に落下した後であり、その時間帯では、溶融炉心の</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>保有熱は大きく、限界熱流束相当の熱流束が発生する。その後、溶融炉心が冷却、固化したクラストの状態になると、温度が周辺の水プールと同程度まで低下するため、除熱量は崩壊熱に制限され、熱流束は約0.5MW/m²まで小さくなる。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、熱流束は Kutateladze の式を用いて計算され、その係数として0.1を使用している。溶融炉心と水との間の熱伝達の不確かさ、あるいは熱伝達相関式の不確かさが存在し、熱伝達が悪化する場合には、大きい保有熱を持つ溶融炉心は冷却されにくくなり、コンクリート温度が高く維持されることが予想される。熱伝達の不確かさについては、「(4) 水-溶融炉心間の熱伝達係数」において考察する。</p> <p>一方、溶融炉心とコンクリートの熱流束についても、水との熱伝達の場合と同様であり、溶融炉心の冷却に時間を要することから、コンクリートへの熱流束がわずかに大きい、長時間継続することはないため、コンクリートの侵食深さへの影響はわずかであり、継続的なコンクリート侵食が発生する状況ではない。コンクリート侵食深さはベースケースが約3mm、感度解析ケースが約4mmとなった。なお、溶融炉心とコンクリートとの間の熱伝達については、基本的には溶融炉心側からコンクリート側に熱が流れるが、熱が逆向きに流れることもある。これは、コンクリート表面温度は溶融炉心が落下した後に急激に上昇し、その後、溶融炉心が上面の水に冷却されるためコンクリート表面温度も低下するが、その際一時的にコンクリート表面温度と溶融炉心の温度が逆転する場合があります、そのときに溶融炉心とコンクリートとの熱流束が負の値となるためである。MAAPコードの解析モデルでは、溶融プールとクラストの界面は対流熱伝達を仮定する。クラスト内部は2次関数の温度勾配を持つと仮定し、クラストとコンクリートの界面がコンクリート表面温度となる。コンクリート内では、深さ方向に1次元の熱伝導方程式により温度分布を持つ仮定としている。溶融炉心とコンクリートとの間の熱伝達には不確かさが存在するが、接触面積が小さくなる場合には、コンクリートへの伝熱量が小さくなり、コンクリート侵食は抑制される方向となるため、不確かさの観点では問題とならない。</p> <p>また、ジェット径及び落下速度の不確かさについては、「4. 不確かさに関する整理」に記載したとおり、エントレインメント係数の不確かさと重畳させると約5割の不確かさがあり結果を厳しくする方向である。これについて、約□割の不確かさ幅で感度を確認した結果、溶融炉心のエントレインメント割合については感度が出ているものの、他のパラメータについては、水-溶融炉心間の限界熱流束の継続時間が若干長くなっている以外は、感度はほとんど現れない。これは、本事故シーケンスでは、溶融炉心に対するエントレイン割合が比較的小さいことにより、粒子状の溶融炉心からの除熱量が小さくなるためである。したがって、水-溶融炉心間の限界熱流束の感度としてはわずかであることから考察すると、約5割の不確かさを考慮した場合にも、その不確かさが有効性評価に与える影響は小さいと言える。</p> <p><u>評価</u></p> <p>エントレインメント割合のコンクリート侵食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>	

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

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>(2) 上面熱流束の感度解析</p> <p>感度解析ケースを表5-2に示す。上面熱流束の不確かさを考慮した下限値として、Lipinski 0-Dモデルにより評価される粒子状ベッドのドライアウト熱流束において、想定される範囲でドライアウト熱流束を小さくする条件の値を選定することとし、圧力0.4MPa[abs]、粒子径3mm、及びポロシティ0.26を条件とした場合の熱流束である800kW/m²（一定）を選定した。解析結果を図5-2a、図5-2b及び表5-5に示す。</p> <p>上面熱流束が小さいと水への熱伝達量が減少するため、熔融炉心の温度はベースケースより高めに推移し、コンクリートへの伝熱量も増加するため、侵食量は増えている。</p> <p>上面熱流束の不確かさ幅の範囲では、コンクリート侵食量への影響は大きい。</p> <p style="text-align: center;">表5-2 上面熱流束係数のベースケースと感度解析ケース</p> <table border="1" data-bbox="147 627 1043 826"> <thead> <tr> <th>パラメータ</th> <th>ベースケース (有効性評価)</th> <th>感度解析ケース</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>②上面熱流束係数 (F_{chr})</td> <td>F_{chr}=0.1 (default) 圧力依存性あり (大気圧状態 で約800kW/m²)</td> <td>800kW/m² 一定</td> <td>Lipinski 0-Dモデルによる評価において、圧力0.4MPa[abs]、粒子径3mm、ポロシティ0.26のドライアウト熱流束</td> </tr> </tbody> </table>	パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠	②上面熱流束係数 (F _{chr})	F _{chr} =0.1 (default) 圧力依存性あり (大気圧状態 で約800kW/m ²)	800kW/m ² 一定	Lipinski 0-Dモデルによる評価において、圧力0.4MPa[abs]、粒子径3mm、ポロシティ0.26のドライアウト熱流束	<p>(3) 熔融炉心の拡がり面積 解析条件</p> <p>熔融炉心の拡がり面積には不確かさがあり、拡がり面積が小さい場合にコンクリートへの熱流束が大きくなる。熔融炉心の落下過程において、冷却が進むと、拡がり面積が小さくなり、冷却されないと拡がり面積が大きくなる傾向となる（添付3-1）。</p> <p>したがって、拡がりの形態として、以下の2ケースを考える。</p> <p>ただし、水中での熔融物の拡がりの挙動については、これまで実験による知見も少なく、複雑であることから、以下の2ケースについては、実現象の不確かさを網羅するという観点で条件を設定した。したがって、本ケースの条件設定は、極端な条件として設定したものであり、現実的に起こりうるものではないと考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> 落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース 落下時に細粒化などにより冷却が進むケース <p>まず、落下時に冷却されずに高温のまま床に到達するケースでは、評価上、最初の原子炉容器破損による熔融炉心の落下により、原子炉下部キャビティ床面に約47m²の広さで拡がり、原子炉下部キャビティ床面積とほぼ同等となる。その後、断続的に熔融炉心が落下するため、熔融炉</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に記載</p> <p>※泊も女川同様に7.2.5.5で個別解析を実施</p>
パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠							
②上面熱流束係数 (F _{chr})	F _{chr} =0.1 (default) 圧力依存性あり (大気圧状態 で約800kW/m ²)	800kW/m ² 一定	Lipinski 0-Dモデルによる評価において、圧力0.4MPa[abs]、粒子径3mm、ポロシティ0.26のドライアウト熱流束							

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

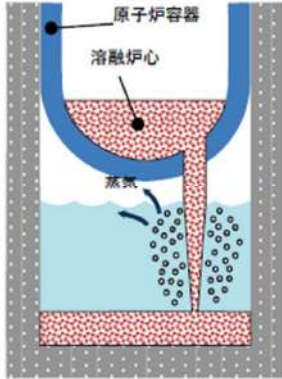
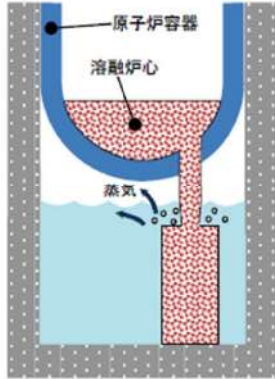
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>心は床全面を超えて拡がると考えられるが、実際は原子炉下部キャビティ壁により拡がり制限されるため、溶融炉心の拡がり面積としては原子炉下部キャビティ床一面を設定する。これは、ベースケースの設定と同等である。溶融炉心が床全面に拡がる場合、溶融炉心は原子炉下部キャビティ側面と接触する。溶融炉心は外周部にクラストを形成し、内部に溶融プールが存在する形態として扱う。溶融プールから側面クラスト内面へは対流熱伝達により伝熱し、側面クラストへは厚さ方向に2次関数の温度勾配を持つものとし、側面クラスト外面にてコンクリートへ熱伝導により伝熱する。コンクリート内部でも側面深さ方向に1次元の熱伝導方程式による温度分布を持つ。そして、コンクリート表面温度がコンクリートの融点を超えると侵食が開始する。</p> <p>一方、落下時に細粒化などにより冷却が進むケースでは、溶融炉心は原子炉下部キャビティ床全面に拡がらずに、局所的に堆積する結果が得られている。このケースでは、落下過程において溶融炉心が冷却されやすくなるよう設定しており、固化による流動抵抗の増加によって、拡がり小さくなっている。</p> <p>本ケースは以下の点から極端な条件で局所的に溶融炉心が堆積するよう想定しており、実機条件よりも厳しい条件を与えるものである。</p> <p>デブリジェットが原子炉下部キャビティ床に到達するまでの落下過程において、溶融炉心と原子炉下部キャビティ水との接触により、溶融炉心から原子炉下部キャビティ水への伝熱が発生する。本ケースにおいては、溶融炉心の過熱度分がすべて伝熱されると仮定し、溶融炉心の融点まで冷却するよう条件を与えているが、実際は、溶融ジェット径が約0.5mと大きいため、落下過程で冷却されずに過熱度を保ったまま原子炉下部キャビティ床に到達する溶融ジェットの割合が大きいと考えられる。</p> <p>落下時に細粒化などにより冷却が進むケースにおいては、落下時に冷却されずに高温のまま床に到達するケースと同様、溶融炉心の質量を約50t（MAAPコードにおける1回目の原子炉容器破損による溶融炉心落下量相当）で、拡がり面積を算出しており、原子炉下部キャビティ床上に落下した溶融炉心は、この拡がり面積で堆積するよう仮定している。しかし、実際は原子炉容器破損以降、溶融炉心は断続的に原子炉下部キャビティへ落下することから、拡がりに寄与する溶融炉心量は更に大きくなり、拡がり面積は大きくなると考えられる。なお、本ケースでは溶融炉心の堆積高さが原子炉下部キャビティ水面より高くなった場合は、原子炉下部キャビティ水面より高い部分については、原子炉下部キャビティ水による冷却がないことから溶融状態のままであり、固化しないと考えられることから、溶融炉心の堆積の高さとしては原子炉下部キャビティ水深までとし、それ以降の堆積は横に拡がる設定とし、具体的には、溶融炉心の拡がり面積の初期値として、原子炉下部キャビティ床面積の約1/10を与えた。</p> <p>MAAPコードでは、水-溶融炉心間の伝熱は溶融炉心の上面のみ計算する。しかし、溶融炉心が局所的に堆積する場合には、その側面も水と接触するため、側面からの除熱にも期待できる。そこで、上面に加えて側面からの除熱効果を考慮するため、溶融炉心形状として円柱を想定し、側面を伝熱面積に加える。計算上の取扱いとしては、局所的に堆積した床面積を水への伝熱計算</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>に使われる上面の面積とし、溶融炉心の落下量に応じて側面分の伝熱面積が増える分を上面の伝熱量の増分として考慮する。即ち、上面に側面を加算した面積に相当する比率を、上面から水への伝熱量の比率として設定する。</p> <table border="1" data-bbox="1064 352 1935 555"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>溶融炉心の拡がり面積</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>原子炉下部キャビティ床面積の1/1</td> <td>原子炉下部キャビティ区画床全面とする</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース</td> <td>原子炉下部キャビティ床面積の約1/10から落下量に応じて拡大</td> <td>落下時に細粒化などにより冷却が進む</td> </tr> </tbody> </table> <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5-3-1～5-3-9に、溶融炉心の拡がり面積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。溶融炉心と水の熱流束については、感度解析ケースの方が、$1\text{MW}/\text{m}^2$を超える*高い値が継続する結果となっている。これは、溶融炉心の拡がり面積を制限したことで、溶融炉心と水の接触面積が小さくなり、その結果溶融炉心の単位時間当たりの除熱量が小さくなったことで、溶融炉心の冷却に時間を要しているためである。</p>	項目	溶融炉心の拡がり面積	設定根拠	ベースケース	原子炉下部キャビティ床面積の1/1	原子炉下部キャビティ区画床全面とする	感度解析ケース	原子炉下部キャビティ床面積の約1/10から落下量に応じて拡大	落下時に細粒化などにより冷却が進む	
項目	溶融炉心の拡がり面積	設定根拠									
ベースケース	原子炉下部キャビティ床面積の1/1	原子炉下部キャビティ区画床全面とする									
感度解析ケース	原子炉下部キャビティ床面積の約1/10から落下量に応じて拡大	落下時に細粒化などにより冷却が進む									

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>(3) 溶融プール-クラスト間の熱伝達係数の感度解析</p> <p>感度解析ケースを表5-3に示す。熱伝達係数の不確かさ幅の中で、床方向への熱伝達を大きくしたケースと壁方向への熱伝達を大きくしたケースの解析結果を図5-3-1a、図5-3-1b、図5-3-2a、図5-3-2b及び表5-5に示す。</p> <p>床方向への熱伝達を大きくすると、床方向へ侵食量は増えており、壁方向の侵食は若干減少している。壁方向への熱伝達を大きくすると、壁方向へ侵食量は増えており、床方向の侵食はあまり変わらない。</p> <p>溶融プールの熱伝達係数の不確かさ幅の範囲では、コンクリート侵食量への影響は小さい。</p>	<p>また、感度解析ケースの方が、溶融炉心の冷却が遅くなっていることから、溶融炉心とコンクリートの熱流束については、高い値が継続しているため、コンクリート侵食が進み、コンクリート侵食深さはベースケースが約3mmであるのに対して、感度解析ケースでは約18cmとなった。</p> <p><u>評価</u></p> <p>溶融炉心の拡がり面積が制限された場合の解析を実施し、コンクリート侵食に対する感度を確認した。溶融炉心の拡がり面積が制限された場合、コンクリート侵食が約18cmとなった。ただし、本感度解析は、極端な条件で局所的に溶融炉心が堆積するよう設定しており、実機条件よりも厳しい条件を与えるものである。</p> <p>※水-溶融炉心間の熱流束の上限値として設定している0.8MW/m²は大気圧下での条件であり、原子炉格納容器圧力は大気圧より大きいことから、熱流束も大きくなる。</p> <p>(4) 水-溶融炉心間の熱伝達係数</p> <p>解析条件</p> <p>水と溶融炉心の熱伝達には、Kutateladze 相関式型の限界熱流束モデルを使用しており、ベースケースでは、水による冷却を伴った溶融炉心とコンクリートの相互作用に関する実験に基づき大気圧条件で0.8MW/m²に相当する値を使用している。</p> <p>なお、溶融炉心が原子炉下部キャビティ水に落下する際は、溶融炉心と原子炉下部キャビティ水の間で熱伝達が行われ、それにより溶融炉心が冷却されるとともに、原子炉下部キャビティ床に堆積する際に溶融炉心表面にクラストが形成されると考えられている。したがって、溶融炉心落下直後は熱流束が比較的高い状態が持続され、この間に溶融炉心の保有する熱は原子炉下部キャビティ水によって除熱される。その後、溶融炉心表面にクラストが形成された状態になると、熱流束は低下してくる。</p> <p>また、CCI実験においても、溶融物への注水直後は高い熱流束が確認され、その後クラストが冷却されて熱流束も低下する結果が得られているとともに、クラストが自重及び原子炉下部キャビティ水の水頭などによる破損により、原子炉下部キャビティ水と直接接触することで再び高い熱流束が得られている。さらに、実機スケールの現象ではクラストにひび割れが生じることが文献¹⁴で示されており、高温の溶融炉心と上面水プールが再度直接接触して、高い熱流束が生じる現象が継続的に発生すると判断できる。</p> <p>¹⁴ M. T. Farmer et al., "Status of the Melt Coolability and Concrete Interaction (MCCI) Program at Argonne National Laboratory", Proc. of ICAPP' 05, Korea, (2005)</p> <p>本パラメータについては、実験で観測された最大の熱流束を考慮したケース、実験で観測されたクラスト形成時の熱流束を考慮したケース、バルク冷却時、クラスト全体固化時、コンクリー</p>	<p>※異方性の影響は“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”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 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>ト混入時の各フェーズを考慮したケース、実験で観測された安定クラスト形成後に更に温度が低下した時点を検討した実機条件としては仮想的なケースの4ケースの感度解析を実施する。</p> <p>感度解析ケース1では、CCI実験において観測されている初期のバルク冷却期間中の熱流束である $3\text{MW}/\text{m}^2$ を適用する。なお、常に高い熱流束が維持されるのではなく、熔融炉心の温度が低下した場合には、熱流束は崩壊熱を除去できる熱流束に制限される。</p> <p>感度解析ケース2では、上記の原子炉下部キャビティへの落下直後の高い熱流束や、クラストの破損による内部の熔融炉心と原子炉下部キャビティ水との直接接触を考慮せず、CCI-2及びCCI-3実験において初期のピークを除外した熱流束である $0.5\text{MW}/\text{m}^2$ を選定する。</p> <p>ここで、以下の理由によりCCI-1実験については、感度解析の条件設定の際の検討対象から除外することとした。</p> <p>CCI実験では、コンクリート侵食開始後に注水しており、クラストと熔融物の間に空洞が形成されている。これは、実験のような小スケールでは壁と壁の間でクラストが強固につながり、クラストブリッジが形成され、その下でコンクリート侵食により熔融物の液位が低下するためである。一方、実機スケールではクラストの自重及び水の水頭によりクラストが破損し、本実験のような空洞は生じないと考えられる。CCI-1実験はクラストの形成後、約10分の時点でクラスト破損が生じ、熱流束が約 $3\text{MW}/\text{m}^2$ まで再上昇しているが、これはクラストと熔融物の間に形成された空洞の影響が大きく現れたケースであり、クラストが破損するまでは空洞の形成により熱流束が小さく、クラストが破損した後に破損箇所から水が流入し、高温の熔融物と水が直接接触することによって熱流束が大きくなったものである。実機スケールでは、このような空洞は形成されないと考えられるため、感度解析の条件設定の際の検討対象から除外することとした。</p> <p>感度解析ケース3では、次のように熱流束を設定する。</p> <p>まず、熔融炉心内部が熔融状態の場合、クラストは破損、浸水を繰り返し、安定したクラストは形成されないと考えられる。したがって、部分的にも熔融炉心から水へ、高い熱流束での伝熱となると考えられる。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。熔融炉心の落下直後は、高温の熔融炉心と原子炉下部キャビティ水の直接接触により、更に高い熱流束が得られると考えられるが、本感度解析では、内部に熔融部が存在する間の熱流束として、一律に $0.8\text{MW}/\text{m}^2$ を適用する。</p> <p>次に、熔融炉心全体が固化した後の挙動においては、原子炉下部キャビティへの落下直後の高い熱流束や、クラストの破損による内部の熔融炉心と原子炉下部キャビティ水との直接接触を考慮せず、CCI-2及びCCI-3実験において初期のピークを除外した熱流束である $0.5\text{MW}/\text{m}^2$ を選定する。</p> <p>次に、コンクリート混入がある場合のドライアウト熱流束については、SSWICS実験において確認されており、コンクリートの混入割合が約15%に達した場合にドライアウト熱流束は約 $0.125\text{MW}/\text{m}^2$ となっている。15%までの間は、ドライアウト熱流束はほぼ直線的に低下しており、コンクリート混入割合が約15%以上の場合には、ドライアウト熱流束はほぼ一定となっている。</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

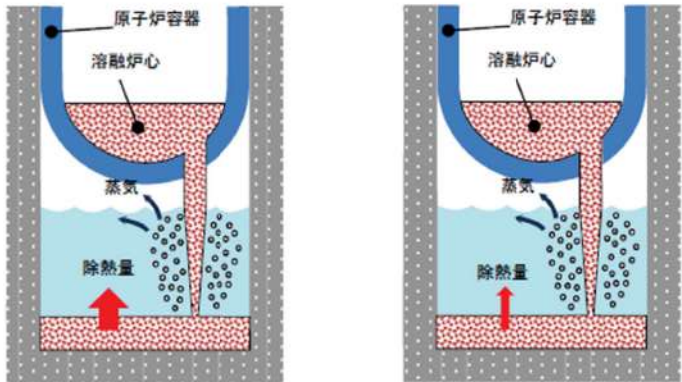
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																										
<p>表5-3 溶融プールークラスト間の熱伝達係数のベースケースと感度解析ケース</p> <table border="1" data-bbox="145 550 1041 837"> <thead> <tr> <th>パラメータ</th> <th>ベースケース (有効性評価)</th> <th>感度解析ケース</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>③ 溶融プールークラスト間の熱伝達係数</td> <td>溶融プールが完全な液相の場合の対流熱伝達係数として 床方向：<input type="text"/> 壁方向：<input type="text"/></td> <td>(1) 床：<input type="text"/> 壁：<input type="text"/> (2) 床：<input type="text"/> 壁：<input type="text"/></td> <td>(1) 床：壁の1/4 (CCI-3 実験反映) 壁：推奨入力値 (2) 床：推奨入力値 壁：床の1/4 (1)の逆とした。）</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="604 877 1008 941" 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>	パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠	③ 溶融プールークラスト間の熱伝達係数	溶融プールが完全な液相の場合の対流熱伝達係数として 床方向： <input type="text"/> 壁方向： <input type="text"/>	(1) 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/> (2) 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/>	(1) 床：壁の1/4 (CCI-3 実験反映) 壁：推奨入力値 (2) 床：推奨入力値 壁：床の1/4 (1)の逆とした。）	<p>本感度解析では、コンクリート侵食量に応じて、上記のSSWICS 実験において確認された熱流束を使用する。</p> <p>感度解析ケース4では、WETCOR, MACE, CCI 実験においてクラスト全体が固化して温度が低下した状態の熱流束である0.2MW/m²を適用する。これについて、溶融炉心は、溶融状態で原子炉下部キャビティ水と直接接触するため、溶融炉心落下直後は高い熱流束が得られると考えられるが、本感度解析は溶融炉心落下直後から、安定化クラスト形成後の熱流束を仮定しているという点で、仮想的なケースであると言える。</p> <table border="1" data-bbox="1086 534 1937 1268"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>Kutateladze 係数</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ベースケース</td> <td>0.1 (0.8 MW/m²相当 (注))</td> <td>水による冷却を伴った溶融炉心とコンクリートの相互作用に関する実験に基づく値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース1</td> <td>0.375 (3MW/m²相当 (注))</td> <td>CCI-2 実験で初期ピークを模擬した熱流束値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース2</td> <td>0.0625 (0.5 MW/m²相当 (注))</td> <td>CCI-2,3 実験で初期ピーク値を除外した熱流束値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース3</td> <td>溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m²相当 (注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m²相当 (注)) コンクリート15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m²相当 (注))</td> <td>溶融物存在時はベースケースと同様。全体固化時は感度解析ケース2と同様。コンクリート混入時はSSWICS 実験での熱流束値</td> </tr> <tr> <td>感度解析ケース4</td> <td>0.025 (0.2 MW/m²相当 (注))</td> <td>WETCOR, MACE, CCI 実験においてクラスト全体が固化して温度が低下した状態の熱流束値</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) 大気圧条件</p>	項目	Kutateladze 係数	設定根拠	ベースケース	0.1 (0.8 MW/m ² 相当 (注))	水による冷却を伴った溶融炉心とコンクリートの相互作用に関する実験に基づく値	感度解析ケース1	0.375 (3MW/m ² 相当 (注))	CCI-2 実験で初期ピークを模擬した熱流束値	感度解析ケース2	0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 (注))	CCI-2,3 実験で初期ピーク値を除外した熱流束値	感度解析ケース3	溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m ² 相当 (注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 (注)) コンクリート15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m ² 相当 (注))	溶融物存在時はベースケースと同様。全体固化時は感度解析ケース2と同様。コンクリート混入時はSSWICS 実験での熱流束値	感度解析ケース4	0.025 (0.2 MW/m ² 相当 (注))	WETCOR, MACE, CCI 実験においてクラスト全体が固化して温度が低下した状態の熱流束値	
パラメータ	ベースケース (有効性評価)	感度解析ケース	根拠																									
③ 溶融プールークラスト間の熱伝達係数	溶融プールが完全な液相の場合の対流熱伝達係数として 床方向： <input type="text"/> 壁方向： <input type="text"/>	(1) 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/> (2) 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/>	(1) 床：壁の1/4 (CCI-3 実験反映) 壁：推奨入力値 (2) 床：推奨入力値 壁：床の1/4 (1)の逆とした。）																									
項目	Kutateladze 係数	設定根拠																										
ベースケース	0.1 (0.8 MW/m ² 相当 (注))	水による冷却を伴った溶融炉心とコンクリートの相互作用に関する実験に基づく値																										
感度解析ケース1	0.375 (3MW/m ² 相当 (注))	CCI-2 実験で初期ピークを模擬した熱流束値																										
感度解析ケース2	0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 (注))	CCI-2,3 実験で初期ピーク値を除外した熱流束値																										
感度解析ケース3	溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m ² 相当 (注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 (注)) コンクリート15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m ² 相当 (注))	溶融物存在時はベースケースと同様。全体固化時は感度解析ケース2と同様。コンクリート混入時はSSWICS 実験での熱流束値																										
感度解析ケース4	0.025 (0.2 MW/m ² 相当 (注))	WETCOR, MACE, CCI 実験においてクラスト全体が固化して温度が低下した状態の熱流束値																										

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
	<div style="text-align: center;">  <p>ベースケース 感度解析ケース</p> </div> <p>解析結果</p> <p>図5-4-1～5-4-10に、水-熔融炉心間の熱伝達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容器破損以降に現れる。</p> <p>まず感度解析ケース1について考察する。感度解析ケース1では、熔融炉心と水の熱流束について、瞬間的に2MW/m²以上となる場合があり、ベースケースの限界熱流束（約1.3MW/m²）に比べて高く、限界熱流束の継続時間はベースケースよりも短くなっている。感度解析ケースでは、熔融炉心落下時の高い熱流束を考慮しているため、熔融炉心温度の低下が顕著であり、コンクリートの侵食深さは0mmとなった。</p> <p>感度解析ケース2では、熔融炉心と水の熱流束について、感度解析ケースでは限界熱流束の値は約0.8MW/m²（大気圧で0.5MW/m²相当）とベースケースより低く、限界熱流束の持続時間はベースケースより若干長く、約20分となっている。感度解析ケースでは、熔融炉心落下直後の高い熱流束を考慮していないことから、熔融炉心温度の低下が緩やかになっており、コンクリートと熔融炉心間の熱伝達もより長時間継続したため、コンクリートの侵食深さはベースケースに比べて増加したものの有意ではなく、約7mmとなった。</p> <p>感度解析ケース3では、熔融炉心と水の熱流束について、初期はベースケースと同様であるが、全体固化後は約0.8MW/m²（大気圧で0.5MW/m²相当）とベースケースより低く、限界熱流束の持続時間はベースケースより長くなっている。感度解析ケースでは、熔融炉心落下直後の高い熱流束を考慮していないことから、熔融炉心温度の低下が緩やかになっており、コンクリートと熔融炉心間の熱伝達もより長時間継続したため、コンクリートの侵食深さはベースケースに比べて若干増加したものの有意ではなく、約3mmとなった。</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>(4) 石灰岩系コンクリートを想定した参考解析</p> <p>解析条件を表5-4に示す。コンクリートの組成や物性は、表4-1及び表4-2に示す値を使用している。石灰岩系コンクリートを想定した場合の解析結果を図5-4a、図5-4b、図5-4c、図5-4d及び表5-5に示す。石灰岩系コンクリートの場合、床方向及び壁方向の侵食量は若干増加しているが、感度は小さい。また、原子炉格納容器内のガスモル分率もベースケースと同様な結果となる。このケースのようにコンクリート侵食量が小さい場合は、石灰岩系コンクリートの影響は小さい。</p> <p style="text-align: center;">表5-4 コンクリート種類を変えた参考解析条件</p> <table border="1" data-bbox="147 1059 1039 1177"> <thead> <tr> <th>パラメータ</th> <th>ベースケース (有効性評価)</th> <th>参考解析ケース</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コンクリート種類</td> <td>玄武岩系</td> <td>石灰岩系</td> <td>ガス発生の影響を確認する。</td> </tr> </tbody> </table>	パラメータ	ベースケース (有効性評価)	参考解析ケース	根拠	コンクリート種類	玄武岩系	石灰岩系	ガス発生の影響を確認する。	<p>感度解析ケース4では、熔融炉心と水の熱流束について、約0.3MW/m²で推移しており、ベースケースの限界熱流束（約1.3MW/m²）に比べて低い値となっている。これは、Kutateladze係数を小さくしたことで、熔融炉心から水への熱流束が小さく評価された結果であり、感度解析ケースでは概ね一定の熱流束が継続している。熔融炉心とコンクリートの熱流束については、最初のピーク値が最も高く、この時点で最もコンクリートが熱せられており、感度解析ケースでは、0.1MW/m²前後の熱流束が継続している。その結果、コンクリートの侵食深さはベースケースの解析結果である約3mmに比べて増加し、約20cmとなった。崩壊熱は時間の経過に伴い減衰し、水による除熱量は前述のとおり概ね一定の値が維持されるため、その結果、約8時間の時点でコンクリート表面温度は融点を下回りコンクリート侵食は停止する。</p> <p>評価</p> <p>水-熔融炉心間の熱流束に対する感度解析を実施し、コンクリート侵食に対する感度を確認した。感度解析ケース1, 2, 3においては、有意なコンクリート侵食には至らず、その不確かさが有効性評価の結果へ与える影響は小さい。一方、熔融炉心落下直後から、安定化クラスト形成後の熱流束を仮定した条件のケース4では、コンクリート侵食が有意に進む結果となった。ただし、本ケースは、前述のとおり、熔融炉心落下直後の高い熱流束の状態を無視した仮想的なケースであり、現実的に起こり得るものではないと考える。</p> <p>(5) 感度解析パラメータの組合せ</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さまざまなパターンの不確かさが考えられること、また直接的な実験例が少なく知見が不十分であることから「4. 不確かさに関する整理」にて抽出したパラメータの組合せを考慮し、感度解析を実施する。</p> <p><u>解析条件</u></p>	<p>※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方6.5.9に記載</p> <p>※BWRは個々の感度解析のみ実施しているが、PWRでは個々の感度を持つパラメーターを組み合わせ、</p>
パラメータ	ベースケース (有効性評価)	参考解析ケース	根拠							
コンクリート種類	玄武岩系	石灰岩系	ガス発生の影響を確認する。							

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>解析条件の設定に当たっては、「5 感度解析と評価（3）熔融炉心の拡がり面積」において設定した条件に則り、熔融炉心の拡がりの形態に着目し、拡がりのケースとして以下の2ケースとなるよう各パラメータを組み合わせた感度解析を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース ・ 落下時に細粒化などにより冷却が進むケース <p>感度解析の組合せとして、「落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース」では、細粒化が進みにくくなるよう設定するため、エントレインメント係数を推奨範囲の最小値とし、熔融炉心の拡がり面積としては、原子炉下部キャビティ床面積を設定した。</p> <p>一方、「落下時に細粒化などにより冷却が進むケース」では、細粒化が進みやすくなるよう設定するため、エントレインメント係数は推奨範囲の最大値とし、熔融炉心の拡がり面積としては、「5 感度解析と評価（3）熔融炉心の拡がり面積」で設定した面積とした。</p> <p>なお、水深については不確かさの範囲では結果への影響が小さいため、ベースケースの値を使用する。また、水-熔融炉心間の熱流束については、両ケースとも不確かさとして重畳させることとし、現実的な不確かさの幅を確認する観点から、「5 感度解析と評価（4）水-熔融炉心間の熱伝達係数」の感度解析ケース3の熱流束を使用する。</p> <p>以上から、パラメータの組合せとして次表の2ケースを考える。</p>	<p>最も厳しい影響を確認している</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 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5-5 MCCI 感度解析結果の一覧			項目	パラメータ	設定値	設定根拠		
有効性評価 (ベースケース)	ケース	パラメータ設定	コンクリート侵食量					
		<ul style="list-style-type: none"> ・エントレインメント係数：<input type="text"/> ・上面熱流束：約800kW/m² @ Iata (F_{chf}=0.1 デフォルト) 圧力依存性考慮 ・溶融プールからクラストへの熱伝達係数 床：<input type="text"/> 壁：<input type="text"/> ・コンクリート組成及び物性値： 玄武岩系 	床面： 2.4cm 壁面： 2.3cm					
	①-1 エントレインメント係数 小	エントレインメント係数： <input type="text"/>	床面： 3.6cm 壁面： 3.5cm					
	①-2 エントレインメント係数 大	エントレインメント係数： <input type="text"/>	床面： 1.7cm 壁面： 1.7cm					
	② 上面熱流束 下限	800kW/m ² 一定	床面： 22.5cm 壁面： 21.6cm					
	③-1 溶融プール熱伝達床方向大	溶融プール熱伝達係数 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/>	床面： 2.4cm 壁面： 2.2cm					
	③-2 溶融プール熱伝達壁方向大	溶融プール熱伝達係数 床： <input type="text"/> 壁： <input type="text"/>	床面： 2.1cm 壁面： 2.4cm					
	(参考解析) 石灰岩系コンクリート	コンクリート組成及び物性値： 石灰岩系	床面： 2.8cm 壁面： 2.8cm					
<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>								
			ベースケース	代替格納容器スプレイ作動	炉心溶融後 30分	運転員等操作余裕時間として設定		
				エントレインメント係数	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最確値		
				溶融炉心の拡がり面積	原子炉下部キャビティ床面積の1/1	原子炉下部キャビティ区画床全面とする		
				Kutateladze係数	0.1 (0.8 MW/m ² 相当 ^(注))	水による冷却を伴った溶融炉心とコンクリートの相互作用に関する実験に基づく値		
			感度解析ケース1	代替格納容器スプレイ作動	炉心溶融後 30分	運転員等操作余裕時間として設定		
				エントレインメント係数	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最小値		
				溶融炉心の拡がり面積	原子炉下部キャビティ床面積の1/1	原子炉下部キャビティ区画床全面とする		
				Kutateladze係数	溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m ² 相当 ^(注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 ^(注)) コンクリート15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m ² 相当 ^(注))	CCI 実験, SSWICS 実験に基づく熱流束を設定		
			感度解析ケース2	代替格納容器スプレイ作動	炉心溶融後 30分	運転員等操作余裕時間として設定		
				エントレインメント係数	<input type="text"/>	当該変数推奨範囲の最大値		
				溶融炉心の拡がり面積	原子炉下部キャビティ床面積の約1/10 から落下量に応じて拡大	落下時に細粒化などにより冷却が進む		
				Kutateladze係数	溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m ² 相当 ^(注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m ² 相当 ^(注)) コンクリート15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m ² 相当 ^(注))	CCI 実験, SSWICS 実験に基づく熱流束を設定		
			<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>					

(注) 大気圧条件

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>解析結果</p> <p>図5-5-1～5-5-9に、本感度解析の結果を示す。</p> <p>感度解析ケース1は、熔融炉心落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケースであり、水一熔融炉心間の熱流束は、ベースケースでは、熔融炉心が原子炉下部キャビティに落下する毎に、大気圧条件相当で0.8MW/m²であるのに対して、感度解析ケース1では、最初の落下時に大気圧条件相当で0.8MW/m²に達するものの、その後は瞬時に全体が固化するため、大気圧条件相当で0.5MW/m²となる。このため、熔融炉心温度、コンクリート表面温度はベースケースよりも高温の期間が若干長く維持される。その結果、コンクリート侵食深さはわずかに増加する程度であり、ベースケースが約3mm、感度解析ケース1が約4mmとなった。なお、感度解析ケース1では、原子炉下部キャビティでの水素生成量がベースケースに比べてわずかながら減少した。具体的には、ベースケースではMCCIによる水素発生量が約3kg、細粒化によるジルコニウム-水反応による水素発生量が約18kgであるのに対して、感度解析ケース1では、MCCIによる水素発生量が約4kg、細粒化によるジルコニウム-水反応量による水素発生量が約11kgとなった。これは、感度解析ケース1においてエントレインメント係数を小さくしたことから、細粒化によるジルコニウム-水反応量が少なくなったためである。</p> <p>感度解析ケース2は、熔融炉心落下時に細粒化などにより冷却が進むケースであり、水一熔融炉心間の熱流束について、ベースケースに比べて、熔融炉心の拡がり面積を制限したことで、熔融炉心と水の接触面積が小さくなり、その結果、熔融炉心の単位時間当たりの除熱量が小さくなったことで、熱流束が高く維持される時間が長くなっている。また、熔融炉心温度、コンクリート表面温度もベースケースに比べて高温の期間が長く維持され、特にコンクリート表面は融点温度に達している期間が長く、この間にコンクリート侵食が継続する。その後、コンクリート表面温度の低下に伴い、コンクリート侵食は停止する。その結果、コンクリート侵食深さは約19cmとなったが、原子炉下部キャビティ底面からのコンクリート厚さは数メートルあり、侵食深さは十分小さいことを確認した。最終的な原子炉格納容器内の水素濃度は約6vol%（ドライ条件換算）にとどまり、水素処理装置（原子炉格納容器内水素処理装置（PAR）及び格納容器水素イグナイタ（イグナイタ））による処理が可能なレベルに収まっている結果となっている。感度解析ケース2においては、コンクリート侵食深さが増加したことにより水素発生量は約53kgとなり、また、エントレインメント係数を大きくしたことにより、細粒化によるジルコニウム-水反応量が大きくなり、水素発生量は約23kgとなった。表5に水素発生量の内訳を示す。表5に示すとおり、MCCIによる水素発生は原子炉容器破損後30分に顕著であり、その後、コンクリート侵食の停止に伴い水素発生も停止する。その結果、水素発生量としては、MCCIにより約6%増加しており、原子炉容器内及び原子炉容器外で反応するジルコニウム量を足すと、全炉心内のジルコニウム量の約37.9%が水と反応する結果となっている。これについて、MCCIにより発生する水素は、すべてジルコニウムに起因するものであることを確認した。また、追加発生となる水素については、水素処理装置（PAR及びイグナイタ）を使用することで処理が可能である。</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 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	
	表5 水素発生量の内訳					
	時刻		RV 破損前	RV 破損後 30分		RV 破損後後期
			1.5 時間	2.0 時間		10 時間
	原子炉 容器内	Zr	257.6kg (29.2%)	257.6kg (29.2%)		257.6kg (29.2%)
		ステンレス	21.4kg (2.4%)	21.6kg (2.5%)		22.9kg (2.6%)
		小 計	279.0kg (31.6%)	279.3kg (31.6%)		280.5kg (31.8%)
	原子炉 容器外	Zr	0.0kg (0.0%)	11.9kg (1.3%)		23.46kg (2.7%)
		ステンレス	0.0kg (0.0%)	0.0kg (0.0%)		0.0kg (0.0%)
		小 計	0.0kg (0.0%)	11.9kg (1.3%)		23.46kg (2.7%)
	MCCI	Zr	0.0kg (0.0%)	47.5kg (5.4%)		53.0kg (6.0%)
		ステンレス	0.0kg (0.0%)	0.0kg (0.0%)		0.0kg (0.0%)
		小 計	0.0kg (0.0%)	47.5kg (5.4%)		53.0kg (6.0%)
	合 計	Zr	257.6kg (29.2%)	317.1kg (35.9%)		334.1kg (37.9%)
		ステンレス	21.4kg (2.4%)	21.6kg (2.5%)		22.9kg (2.6%)
		小 計	279.0kg (31.6%)	338.7kg (38.4%)		356.9kg (40.4%)
<p>※（ ）内は全炉心 Zr 量の 100% が反応した場合の水素発生量（約 882.6kg）に対する割合を示す。</p>						
<p>評価</p> <p>感度解析パラメータの組合せを考慮した場合、熔融炉心落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケースでは、コンクリート侵食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。熔融炉心落下時に細粒化などにより冷却が進むケースでは、コンクリート侵食は約 19cm となった。ただし、本感度解析は、熔融炉心の拡がり面積として、極端な条件で局所的に熔融炉心が堆積するよう設定していることから、実機条件よりも厳しい条件を与えたものである。</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
<div data-bbox="230 268 981 355" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>「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> </div>	<div data-bbox="1115 268 1921 363" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>「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> </div> <div data-bbox="1176 395 1863 986" style="text-align: center;"> </div>	

図 5-1-1 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（1）

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

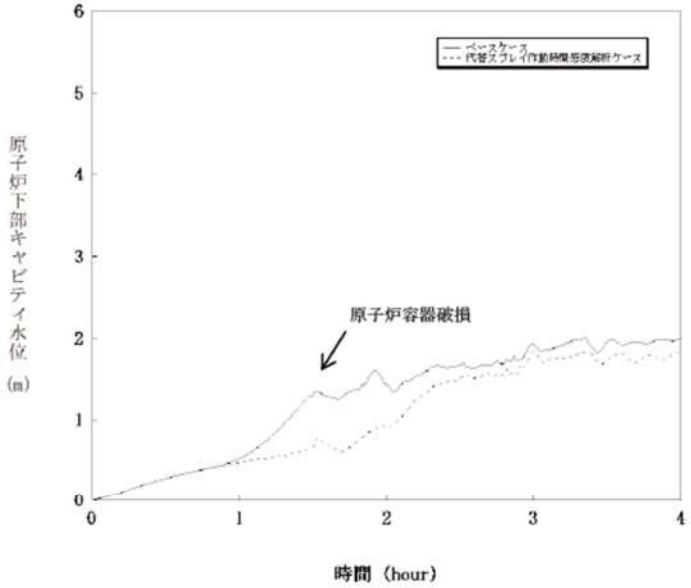
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-1-2 代替格納容器スプレィ作動時刻感度解析（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="1258 986 1751 1013">図 5-1-3 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（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 5-1-4 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（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 5-1-5 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（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 5-1-6 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（6）</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 5-1-7 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（7）</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5-1-8 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（8）</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>原子炉格納容器内の水素濃度（ドライ条件換算） (vol%)</p> <p>時間 (hour)</p> <p>13vol%</p> <p>— ベースケース - - - 代替スプレイ作動時刻感度解析ケース</p>	

図5-1-9 代替格納容器スプレイ作動時刻感度解析（9）

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

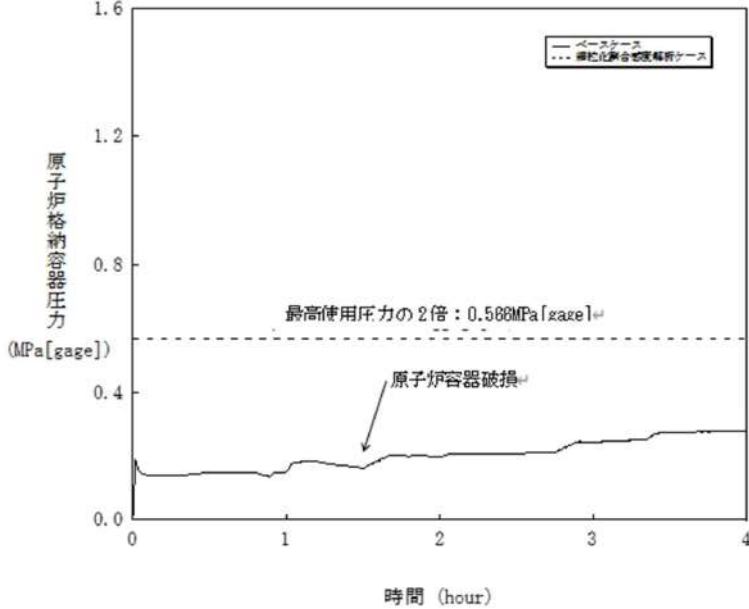
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-2-1 溶融炉心の細粒化割合感度解析（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="1294 1023 1704 1046">図 5-2-2 熔融炉心の細粒化割合感度解析（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;">図 5-2-3 熔融炉心の細粒化割合感度解析（3）</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)

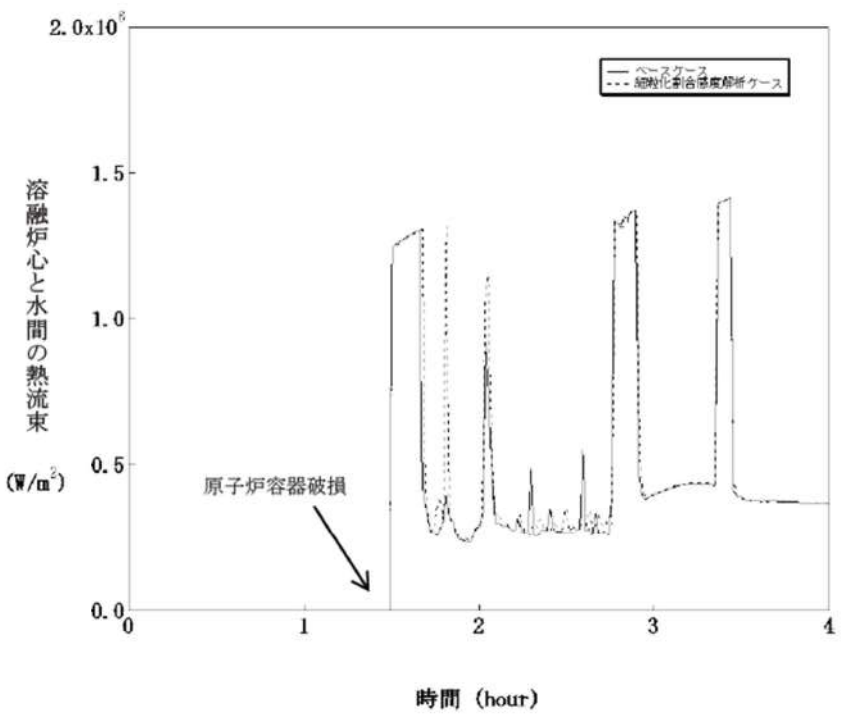
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図 5-1-1a コンクリート侵食量の比較（エントレインメント係数 ）</p> <div 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>図 5-2-4 溶融炉心の細粒化割合感度解析（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

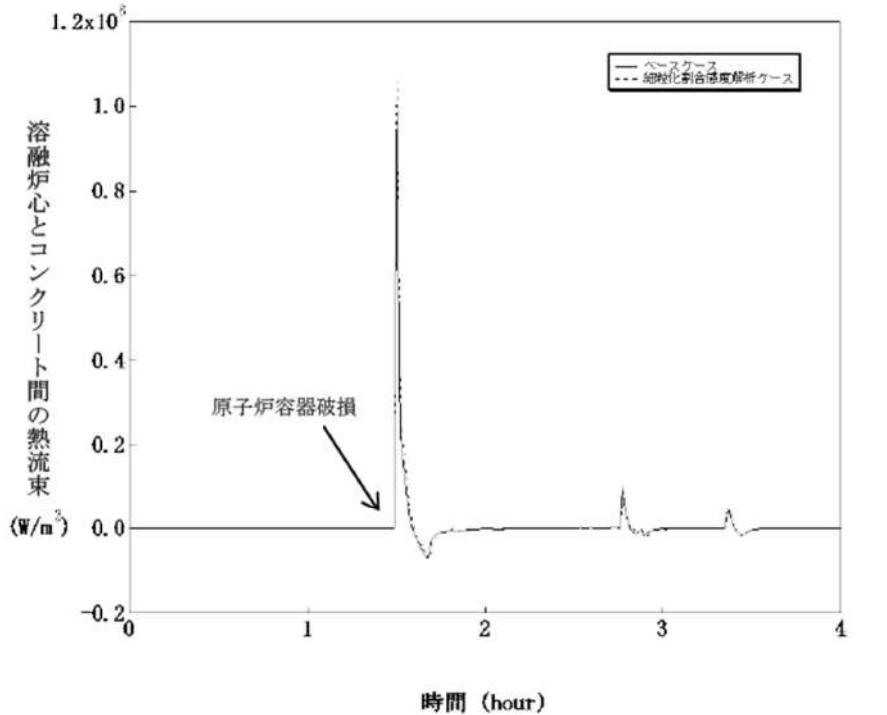
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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 5-2-5 溶融炉心の細粒化割合感度解析（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

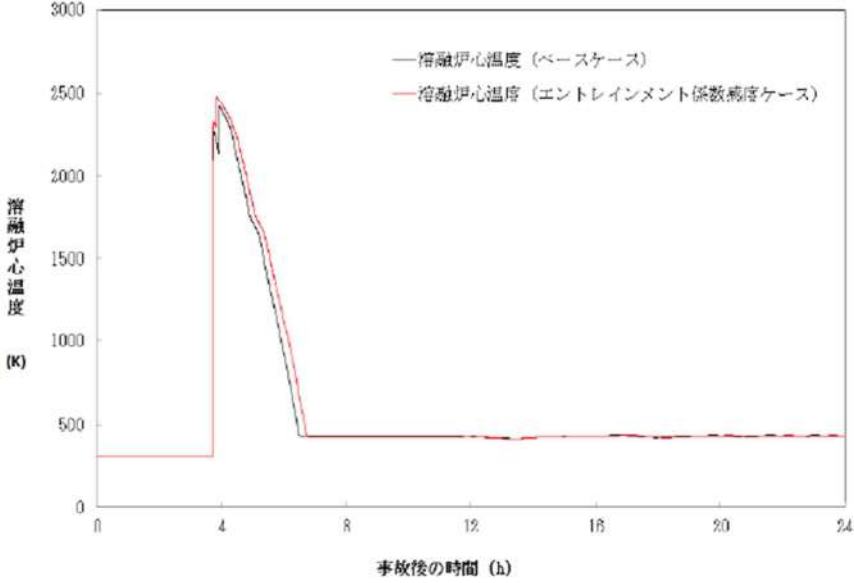
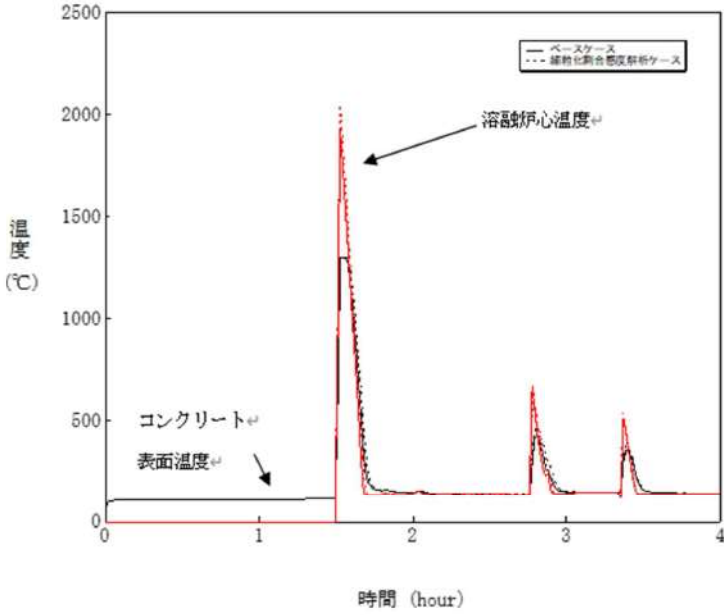
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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 5-2-6 溶融炉心の細粒化割合感度解析（6）</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

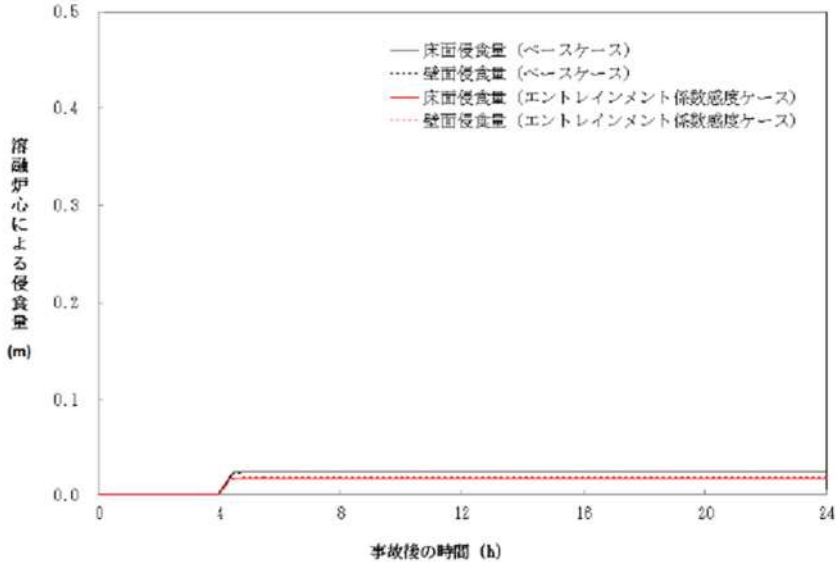
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図 5-1-1b 溶融炉心温度の比較 (エントレインメント係数)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px; 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>	 <p>図 5-2-7 溶融炉心の細粒化割合感度解析 (7)</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="264 1054 904 1082">図5-1-2a コンクリート侵食量の比較（エントレインメント係数 ）</p> <div data-bbox="616 1150 1014 1214" 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 5-1-2b 溶融炉心温度の比較（エントレインメント係数 <input type="text"/> ）</p> <div 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>図 5-2-8 熔融炉心の細粒化割合敏感度解析 (8)</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）

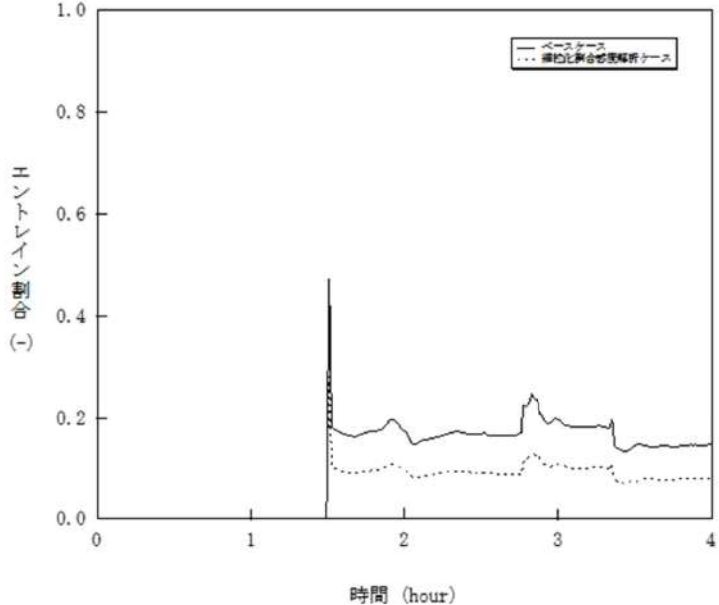
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>原子炉格納容器内の水素濃度（ドライ条件換算） (vol%)</p> <p>時間 (hour)</p> <p>13vol%</p> <p>— ベースケース - - - 細粒化割合感度解析ケース</p>	

図 5-2-9 熔融炉心の細粒化割合感度解析（9）

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="1279 1023 1720 1046">図 5-2-10 溶融炉心の細粒化割合感度解析（10）</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 5-3-1 溶融炉心の拡がり面積感度解析（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 5-3-3 溶融炉心の拡がり面積感度解析（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5-2a コンクリート侵食量の比較（上面熱流束 800kW/m² 一定）</p>	<p>図5-3-4 溶融炉心の拡がり面積感度解析（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

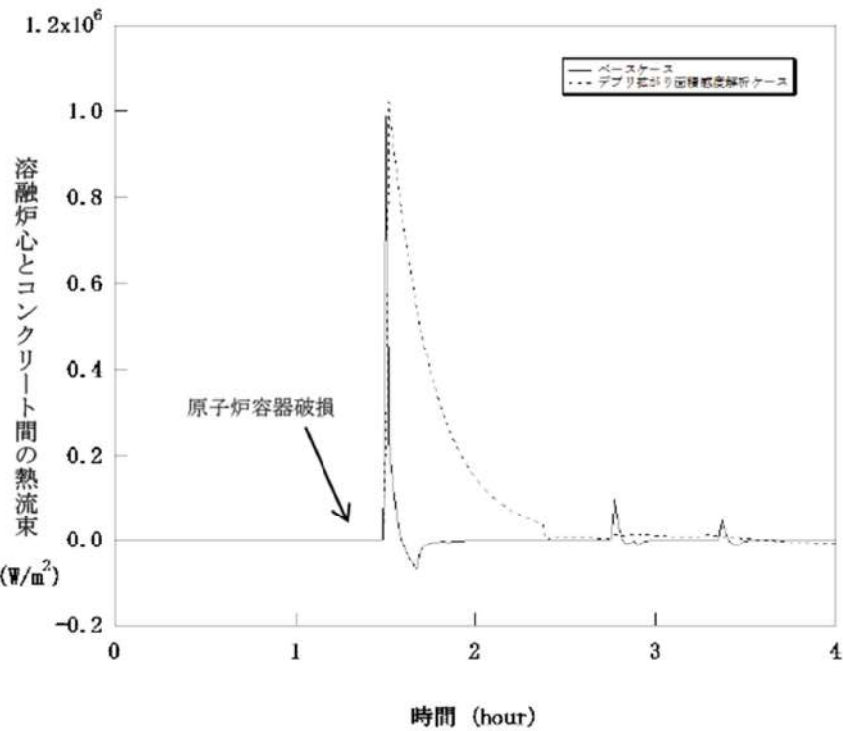
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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 5-3-5 溶融炉心の拡がり面積感度解析（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 5-3-6 溶融炉心の拡がり面積感度解析（6）</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 5-2b 溶融炉心温度の比較（上面熱流束 800kW/m²一定）</p>	<p>図 5-3-7 溶融炉心の拡がり面積感度解析（7）</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

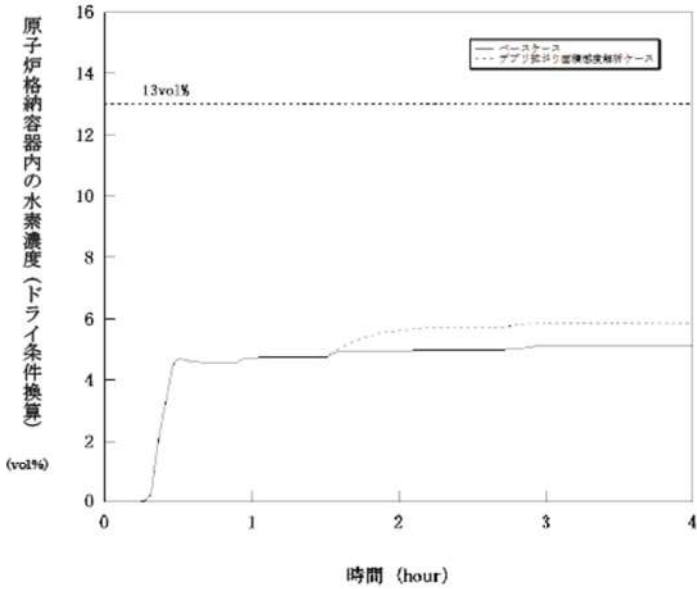
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-3-8 溶融炉心の拡がり面積感度解析（8）</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>図 5-3-9 熔融炉心の拡がり面積感度解析（9）</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)

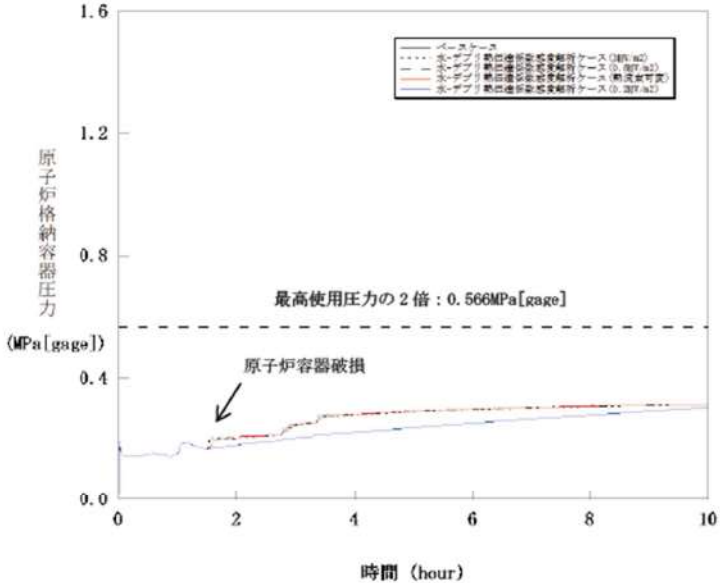
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 5-4-1 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析 (1)

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>図 5-4-2 水-熔融炉心間の熱伝達係数感度解析 (2)</p>	

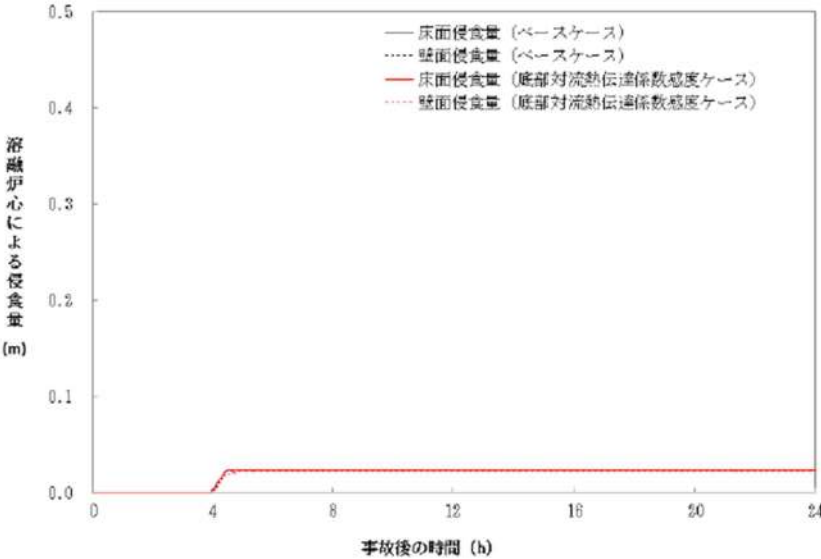
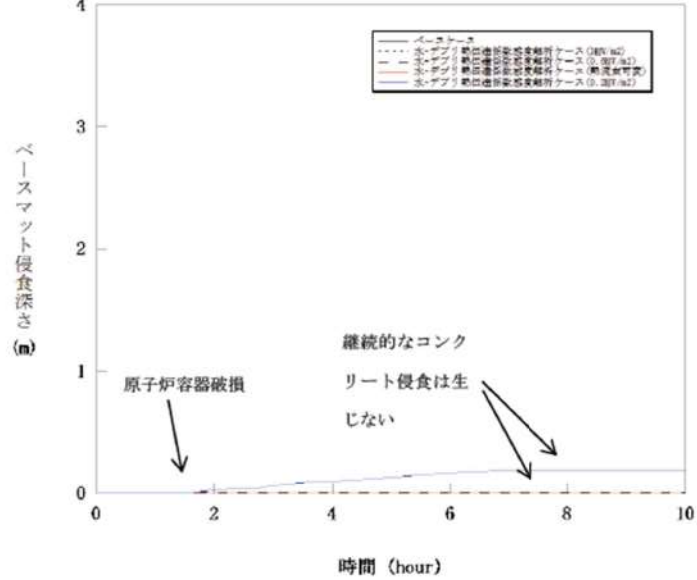
泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

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 熔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>図 5-4-3 水-熔融炉心間の熱伝達係数感度解析 (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

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="302 954 884 981">図 5-3-1a コンクリート侵食量の比較 (床方向対流熱伝達係数大)</p>	 <p data-bbox="1265 989 1736 1013">図 5-4-4 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析 (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

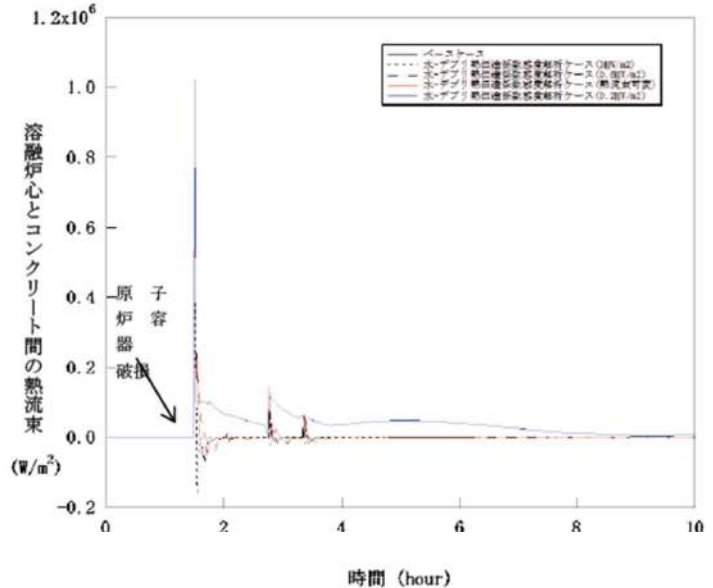
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由

図 5-4-5 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析 (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;">図 5-4-6 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析 (6)</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 5-3-1b 溶融炉心温度の比較（床方向対流熱伝達係数大）</p>	<p>図 5-4-7 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析（7）</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

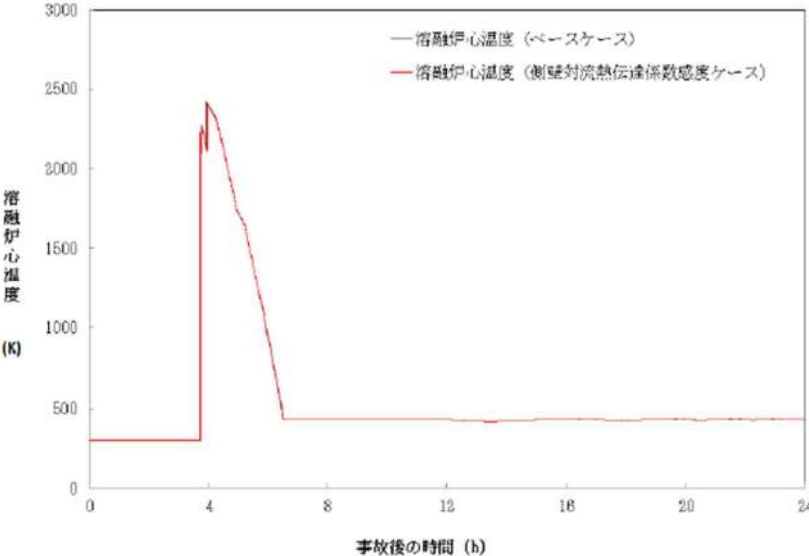
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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="300 954 878 978">図 5-3-2a コンクリート侵食量の比較（壁方向対流熱伝達係数大）</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="331 954 851 976">図 5-3-2b 溶融炉心温度の比較（壁方向対流熱伝達係数大）</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 5-4-8 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析（8）</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>図 5-4-9 水-熔融炉心間の熱伝達係数感度解析 (9)</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 5-4-10 水-溶融炉心間の熱伝達係数感度解析（10）

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

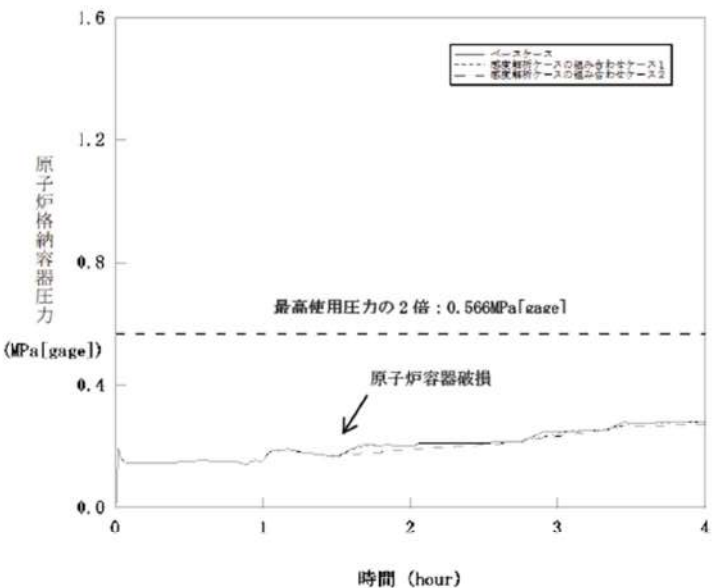
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>図 5-5-1 感度解析ケースの組合せ（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 data-bbox="1332 949 1680 981">図 5-5-2 感度解析ケースの組合せ (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

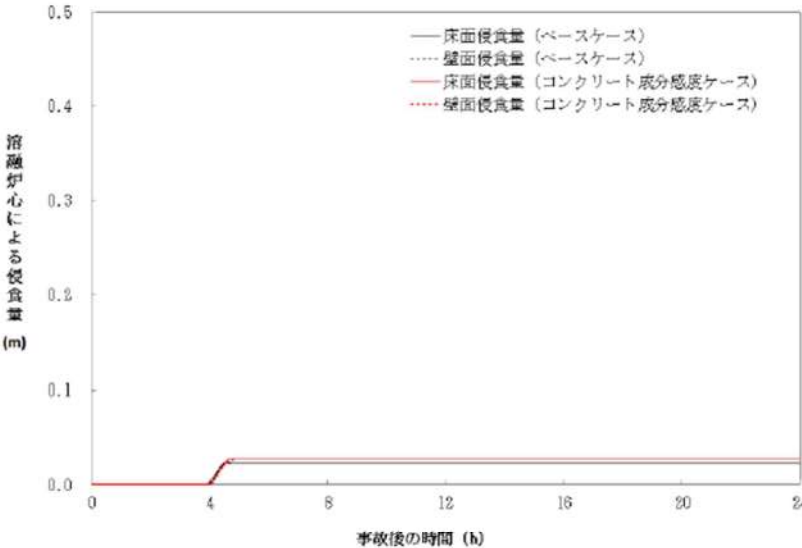
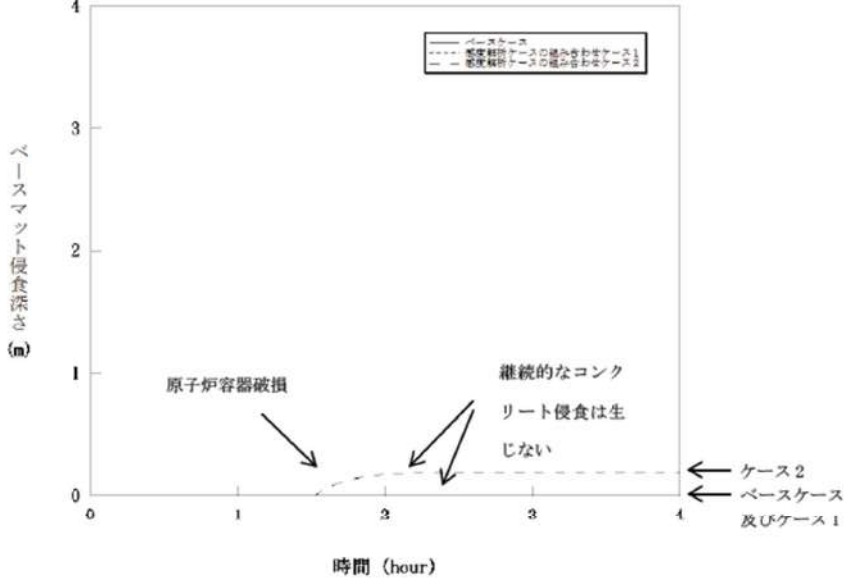
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

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;">図 5-5-3 感度解析ケースの組合せ (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="318 954 862 981">図5-4a コンクリート侵食量の比較（石灰岩系コンクリート）</p>	 <p data-bbox="1326 954 1680 981">図5-5-4 感度解析ケースの組合せ（4）</p>	<p data-bbox="1975 172 2110 331">※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方の6.5.9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 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;">図 5-5-5 感度解析ケースの組合せ（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 5-5-6 感度解析ケースの組合せ（6）</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>※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方の6.5.9に記載</p>
<p>図 5-4b 溶融炉心温度の比較（石灰岩系コンクリート）</p>	<p>図 5-5-7 感度解析ケースの組合せ（7）</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>(t)</p>	

図 5-5-8 感度解析ケースの組合せ (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 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;">図 5-5-9 感度解析ケースの組合せ（9）</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 5-4c ドライウェルガスモル分率（石灰岩系コンクリート）</p>		<p>※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方の6.5.9に記載</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>図5-4d サプレッションチェンバガスモル分率 (石灰岩系コンクリート)</p>		<p>※コンクリート組成に関する感度解析は基本的考え方の6.5.9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
<p>6. まとめ</p> <p>MCCIに関する種々の実験から得られた知見等に基づきMCCIの各過程における不確かさの分析を行い、不確かさがあり、評価結果に影響するモデルパラメータとして、エントレインメント係数、上面熱流束を抽出した。また、二次元侵食実験結果で確認されている侵食の異方性については、いまだ十分な解明が行われておらず、実機のウェット条件でも起こるのかは不明であるが、念のために異方性の影響をみるために、溶融プールから床方向と壁方向への熱伝達係数の感度解析を行った。これらのパラメータの感度解析以外に、コンクリート種類を玄武岩系コンクリートから石灰岩系コンクリートに変更した場合の解析も参考に実施し、コンクリート侵食量への影響を確認した。</p> <p>BWR5, Mark-I 改プラントの有効性評価に使用しているノミナル条件を設定したベースケースでは、コンクリート侵食量は2.4cmであった。</p> <p>エントレインメント係数の感度解析結果より、水中での粒子化によるクエンチ効果に差が出て、床上に堆積した溶融炉心温度に影響し、コンクリート侵食量に影響するが、その影響は小さかった。</p> <p>上面熱流束の感度解析結果より、上面熱流束は、床上に堆積した溶融炉心温度に大きく影響し、コンクリート侵食量に大きく影響する結果となった。</p> <p>玄武岩系コンクリートに見られる床方向と壁方向のコンクリート侵食の異方性の影響を確認するため、溶融プールから床方向と壁方向への熱分配の異方性として扱い、溶融プールのクラスト間の熱伝達係数を変えて、床方向への熱伝達が大きい場合と壁方向への熱伝達が大きい場合の感度を調べた。その結果、熱伝達の大きい方向の侵食量が大きくなり、侵食の異方性が確認された。ただし、ノミナル条件の場合のように侵食量が小さい場合は、侵食量に大きな感度がないことがわかった。</p> <p>感度解析の結果、コンクリート侵食量に対して上面熱流束の感度が支配的であることが確認された。上面熱流束を想定される下限値とした場合でも、コンクリート侵食量は、22.5cm程度に収まることが確認された。</p> <p>また、実験で確認されている侵食面における侵食の不均一性については、MAAPモデルのベンチマーク解析結果から、実験の侵食面における侵食のばらつきが、MAAPコードによる予測侵食量の20%の範囲内に収まっていることが確認され、上面熱流束の感度に比べて影響が小さいことが確認された。</p> <p>また参考として、他の条件を同一として玄武岩系コンクリートから石灰岩系コンクリートに変更した解析も実施したところ、侵食量に大きな感度はなかった。また、ガス発生の影響も顕著には見られなかった。</p>	<p>6 まとめ</p> <p>MCCIに関する種々の実験から得られた知見等に基づき不確かさの要因の分析を行い、不確かさへの影響する項目を抽出した。これらの項目を対象に感度解析を行いコンクリート侵食への影響を確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉下部キャビティ水深 ・Ricou-Spaldingのエントレインメント係数 ・溶融炉心の拡がり ・水-溶融炉心間の熱伝達係数 <p>感度解析の結果、原子炉下部キャビティ水深、Ricou-Spaldingのエントレインメント係数及び水-溶融炉心間の熱伝達係数については、コンクリート侵食深さへの感度は小さく、重大事故対策の有効性評価の結果に影響は与えないことを確認した。</p> <p>溶融炉心の拡がりについては、溶融炉心が過熱度を持ち連続的に原子炉下部キャビティ床へ落下すること等から、原子炉下部キャビティ床面積相当に拡がると考えられるが、溶融炉心が原子炉下部キャビティ水中に落下した際に冷却が進み局所的に堆積するよう仮定して解析を行った場合でも、コンクリート侵食は約18cmにとどまる結果となった。</p> <p>感度解析パラメータを組み合わせた場合の感度解析でもコンクリート侵食は約19cmとなったが、原子炉下部キャビティ底面のコンクリート厚さは数メートルであり、侵食深さは十分小さいことが確認できた。この規模のコンクリート侵食が発生する場合でも、原子炉格納容器内の水素濃度は約6vol%（ドライ条件換算）にとどまり、水素処理装置（PAR及びイグナイタ）による処理が可能なレベルに収まっている結果となっている。また、MCCIにより発生する水素は、すべてジルコニウムに起因するものであることを確認した。</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>最後に、MCCIに関係する現象は、複雑な多成分・多相熱伝達現象であり、現状でも知見が十分であるとは言えない。また事前水張り時の落下デブリの冷却性を直接調べた実験例が殆どないことから、今後も継続して検討を進め、新たな知見が出た場合には適宜評価に反映するように努めることが重要であると考えられる。</p>	<p>以上のことから、物理現象を踏まえた不確かさを考慮すると、コンクリート侵食については、溶融炉心の拡がりや影響を与えることが明らかとなった。一方、厳しい条件を組み合わせた場合においても、最終的にコンクリート侵食が停止し得ることから、原子炉下部キャビティ水による溶融炉心の冷却の効果も確認できた。しかしながら、この分野は複雑な多成分及び多相熱伝達現象であり知見が不十分であること、また直接的な実験例が少ないことから、今後も継続して検討を進め、知見の拡充に努めることが重要であると考えられる。</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;">付録</p> <p>付録1 ドライ条件でのMCC I 実験</p> <p>デブリとしてUO₂コリウムを用い、崩壊熱を模擬し、注水を行っていないドライ条件の実験として、米国サンディア国立研究所（SNL）のSURC 実験、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）のACE 実験及び独カールスルーエ研究所（KfK）で実施されたBETA 実験がある。以下にそれぞれの実験について説明する。これらの実験は、実機におけるMCC I 継続の影響の検討に参考となる。</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 style="text-align: center;">【泊では本文3.に記載】</p>	<p style="text-align: center;">※3.1 (2) 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

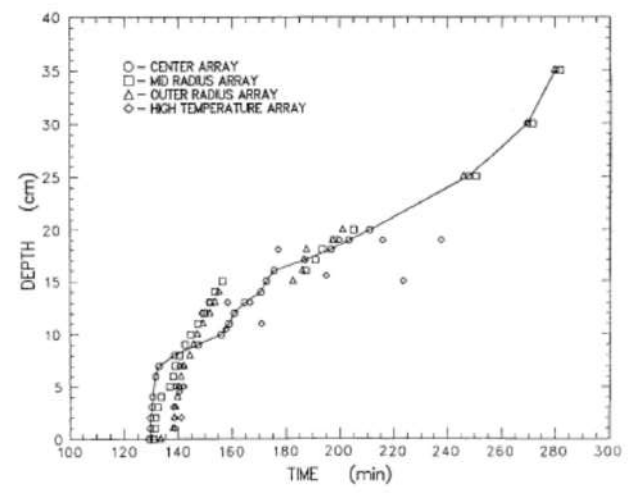
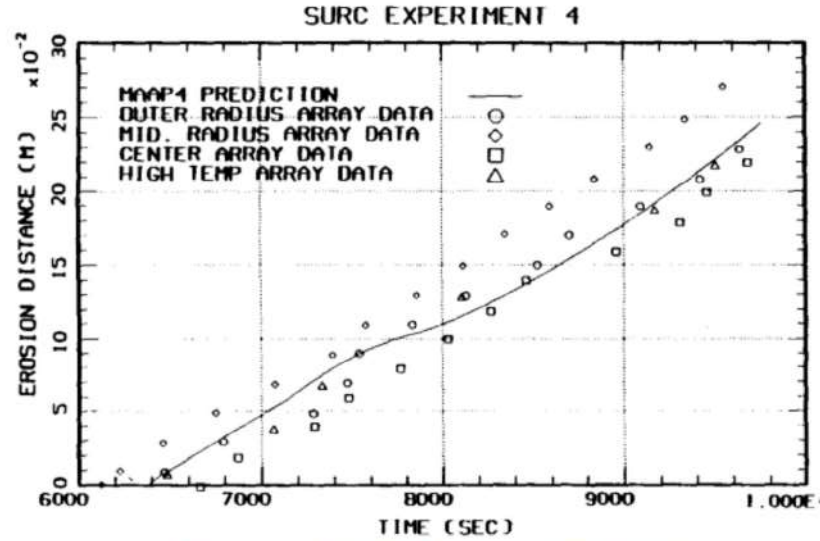
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>付図 1-1 SURC 実験装置^[23]</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="425 710 761 742">付図1-2 SURC-2 実験の侵食深さ^[23]</p>  <p data-bbox="324 1364 862 1396">付図1-3 SURC-4 実験の侵食深さとMAA P解析との比較^[23]</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

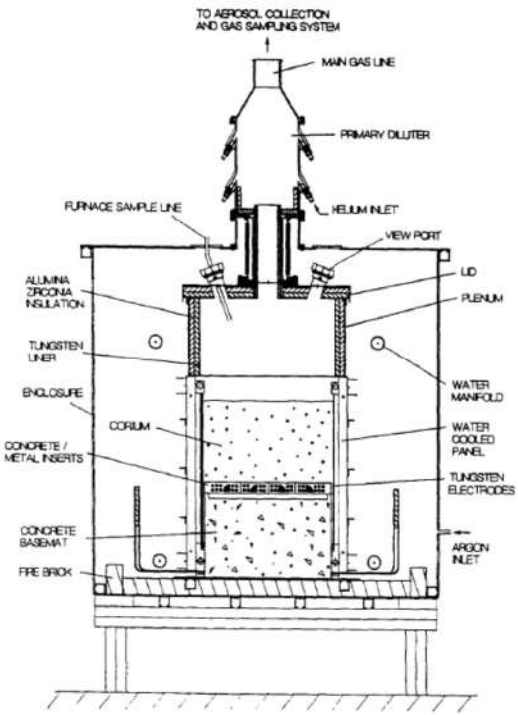
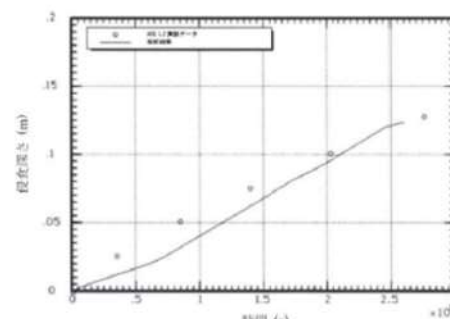
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																
<p>(2)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溶融させている。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 style="text-align: center;">付表1-1 ACE/MCCI 実験マトリックス^[23]</p> <table border="1" data-bbox="293 579 907 930"> <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>B₂C</td> </tr> <tr> <td>L7</td> <td>L/S</td> <td>250</td> <td>BWR</td> <td>70</td> <td>B₂C</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 ₂ C	L7	L/S	250	BWR	70	B ₂ C	L8	L/L	350/150 ^c	PWR	70	Ag, In		<p>※3.1 (1)に記載</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 ₂ C																																													
L7	L/S	250	BWR	70	B ₂ C																																													
L8	L/L	350/150 ^c	PWR	70	Ag, In																																													

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="448 909 739 941">付図 1-4 ACE/MCCI 実験装置^[3]</p>  <p data-bbox="560 1316 851 1348">出典：MAAP4 User's Manual, EPRI</p> <p data-bbox="336 1388 851 1420">付図 1-5 ACE-L2 実験とMAAP解析の侵食深さの比較^[34]</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>(3) BETA 実験（独 KfK）^{[6][34]}</p> <p>MCCI 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。ベ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>※3.1 (15) 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
<p>(1) Melt (2) Concrete Crucible (3) Induction Coil (4) Hood and Offgas System (5) Thermite Reaction Tank (6) Tank for Measurement Probes</p>		

付図 1-6 BETA 実験装置^[34]

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
付表 1-2 BETA 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
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 5.3	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

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]

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
<div data-bbox="163 180 539 264" 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="228 280 976 798" style="border: 2px solid black; height: 324px; margin: 10px 0;"></div> <div data-bbox="309 815 875 842" style="text-align: center;"> <p>付図 1-8 BETA-V5.1 実験とMAAP解析の侵食深さの比較 ^[34]</p> </div> <div data-bbox="224 877 972 1375" style="border: 2px solid black; height: 312px; margin: 10px 0;"></div> <div data-bbox="309 1394 875 1422" style="text-align: center;"> <p>付図 1-9 BETA-V5.2 実験とMAAP解析の侵食深さの比較 ^[34]</p> </div>		

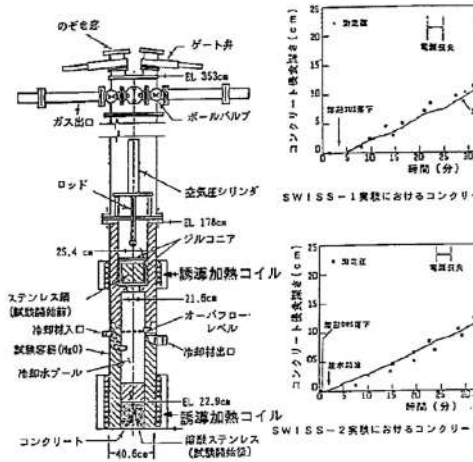
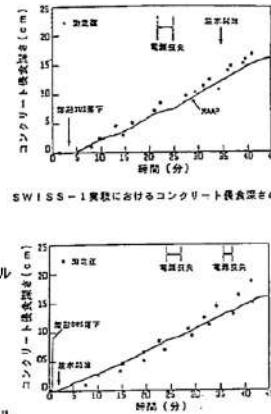
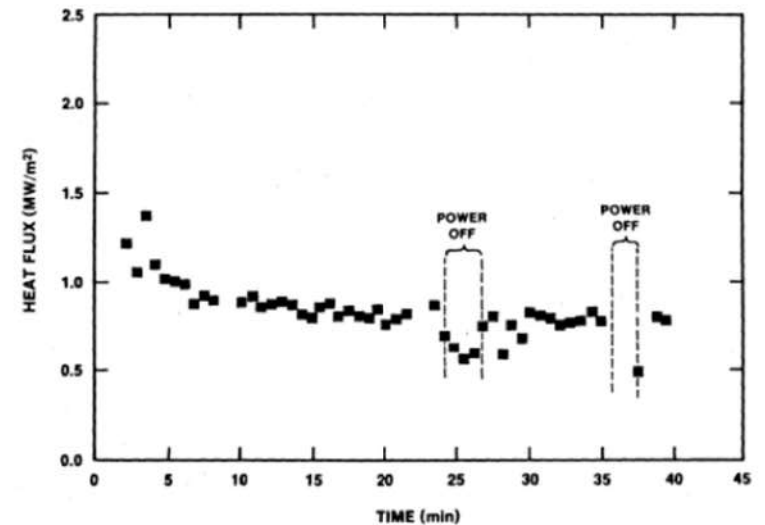
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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>付録2 注水を伴ったMCCI実験</p> <p>注水を伴う実験（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実験及びWETCOR実験、ANL（EPRI）の主催で実施されたMACE実験及びOECD/MCCI実験、原子力発電技術機構（NUPEC）により実施されたCOTELS実験がある。</p> <p>以下の実験の知見を示す。</p> <p>(1) SWISS実験（米国サンディア研究所(SNL)） (2) WETCOR実験（米国サンディア研究所(SNL)） (3) MACE実験（米国アルゴンヌ研究所(ANL)） (4) COTELS実験（日本 原子力発電技術機構 (NUPEC)） (5) OECD/MCCI実験（米国アルゴンヌ研究所(ANL)）</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熔融させ、熔融したステンレスと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ト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>【泊では本文3.に記載】</p>	<p>※3.1 (3)に記載</p>

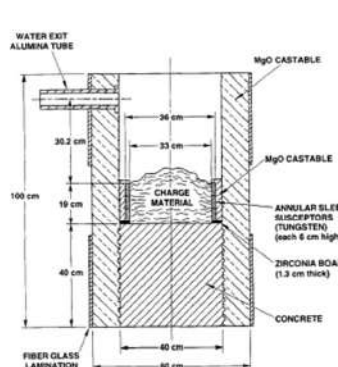
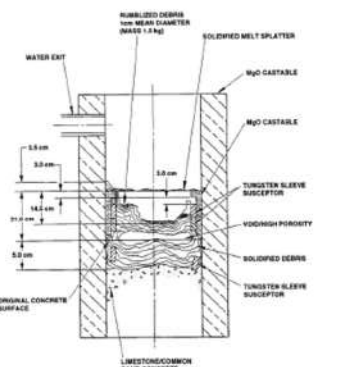

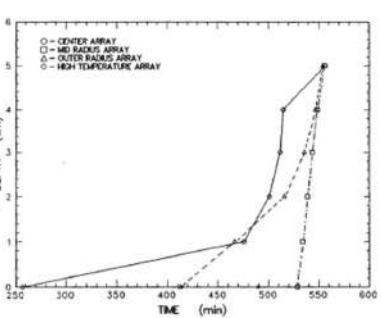
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<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>付図2-2 SWISS-2 実験の水プールへの熱流束^[7]</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) WETCOR 実験 (米国 SNL) [8]</p> <p>Al₂O₃ と CaO の酸化物混合溶融物 34kg を用いて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溶融時に 520kW/m² 程度、凝固時に 200kW/m² 程度であった。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="246 414 582 829">  <p>(実験装置の概要)</p> </div> <div data-bbox="604 414 940 829">  <p>(実験後の状態の模式図)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="224 861 537 1276">  <p>(上部クラストの様子)</p> </div> <div data-bbox="560 925 940 1276">  <p>(コンクリート侵食の時間変化)</p> </div> </div> <p>付図 2-3 WETCOR 実験結果 [8]</p>	<p>泊発電所3号炉</p>	<p>相違理由</p> <p>※3.1 (4) に記載</p>

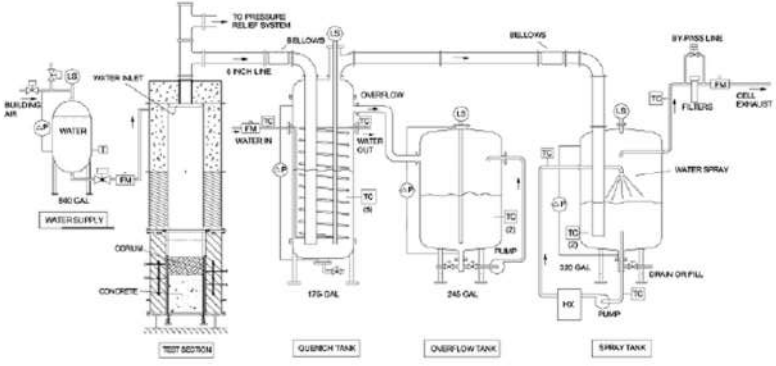
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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																																																																		
<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 style="text-align: center;">付表 2-1 MACE 実験の主要条件 ^[20]</p> <table border="1" data-bbox="244 868 969 1299"> <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>※3.1 (5) に記載</p>
	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																																																																

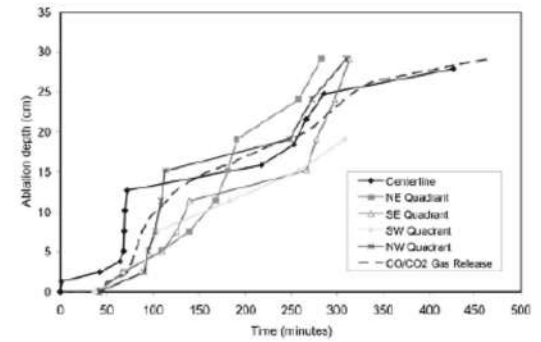
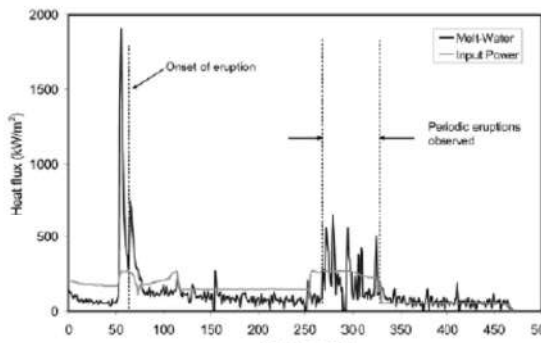
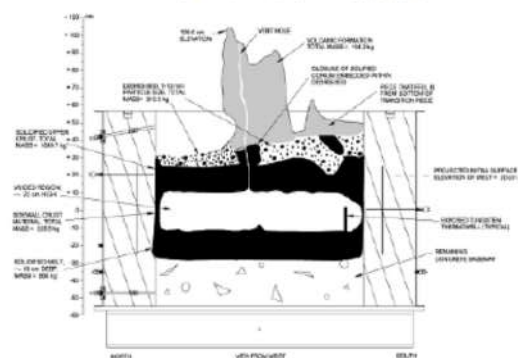
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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="414 646 795 678">付図 2-4 MACE 及び OECD/MCCI 実験装置^[9]</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

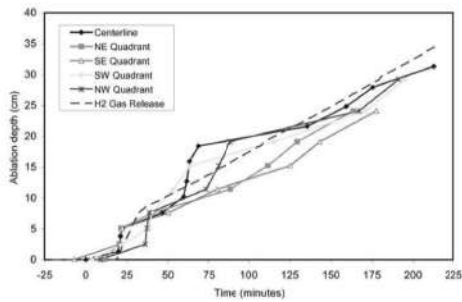
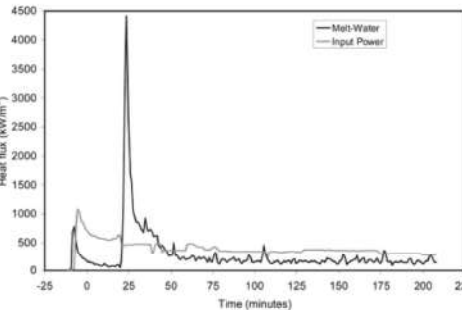
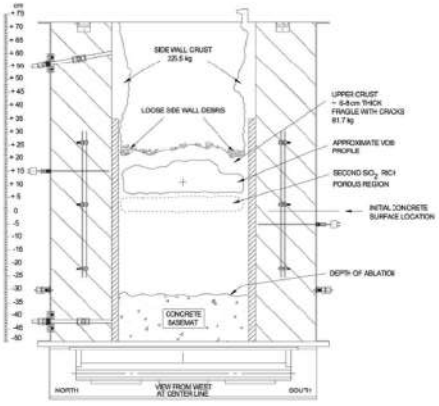
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>(軸方向侵食データ)</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>付図 2-5 MACE-M3b 実験結果^[10]</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>(軸方向侵食データ)</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>付図 2-6 MACE-M4 実験結果^[10]</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

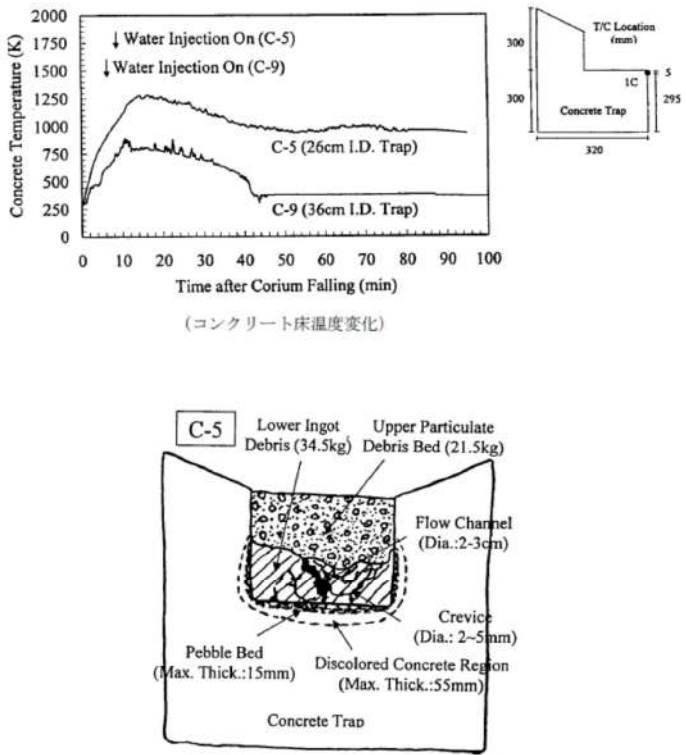
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶解炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(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解させ、玄武岩系のコンクリート床面上に落下させ、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>溶解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> <div data-bbox="358 778 963 1300" data-label="Diagram"> </div> <p>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>※3.1 (8) 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
 <p>Concrete Temperature (K) vs Time after Corium Falling (min)</p> <p>Water Injection On (C-5) Water Injection On (C-9)</p> <p>C-5 (26cm I.D. Trap) C-9 (36cm I.D. Trap)</p> <p>(コンクリート床温度変化)</p> <p>C-5 Lower Ingot Debris (34.5kg) Upper Particulate Debris Bed (21.5kg) Flow Channel (Dia.: 2-3cm) Crevice (Dia.: 2-5mm) Pebble Bed (Max. Thick.: 15mm) Discolored Concrete Region (Max. Thick.: 55mm) Concrete Trap</p> <p>(実験後のコリウム断面の模式図)</p> <p>付図2-8 COTELS C-5 実験の結果^[11]</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>(5) OECD/MCCI 実験 (米国 ANL)^{[10][12][13][36][38][41]}</p> <p>OECD/MCCI 実験は、MACE 実験や COTELS 実験の注水を伴う MCC I 実験で同定された個々のデブリ冷却メカニズムや火山型クラストの冷却性 (付図 2-9 及び付図 2-10 参照) を定量的に解明することを目的として、以下の実験が実施された。</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、熱伝導律速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>② 溶融物噴出実験 (MET 実験)</p> <p>コンクリート分解気体がクラストの開口部を通過する際に、気体に随伴されてクラスト上に噴出するデブリ量の定量化を目的としている。クラスト浸水実験と同様に、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。クラスト浸水実験との違いは、本実験においては直接通電加熱により崩壊熱を模擬すること及び非侵食性床面に設けた多数の細孔からコンクリート分解気体を模擬する非凝縮性気体を供給している。テスト部で発生する水蒸気量の変化と実験後分析から得られるデブリ噴出量に基づいて、供給気体流量と噴出量の関係を評価している。</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 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に注水を行い、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</p>		<p>※3.1 (12) に記載</p> <p>※3.1 (11) に記載</p> <p>※3.1 知見の整理 (12) 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
<p>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>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>OECD/MCCI 実験結果から以下の知見が得られている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガス噴出は、安定なクラストの形成を阻害し、熱伝達を促進する。 ・クラストが冷却されると、亀裂が生じクラスト強度は大幅に低下する。 ・クラストの亀裂により冷却水が内部に浸入し、デブリの冷却が促進される。 ・溶融物の噴出により、多孔質の粒子状ベッドが形成される。 ・コンクリートタイプにより侵食異方性がみられる。 <p>これらの知見は、CORQUENCHコード等に反映される予定である。</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^[36]。</p>		<p>※3.1 知見の整理（13）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

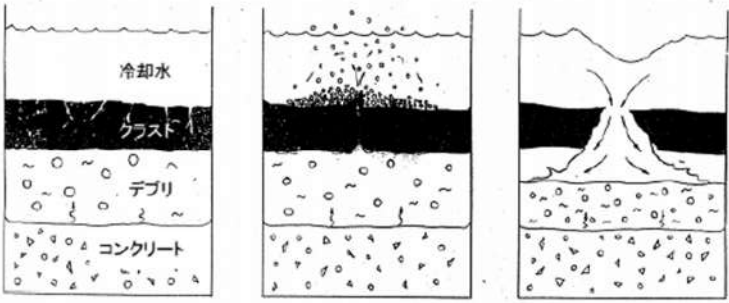
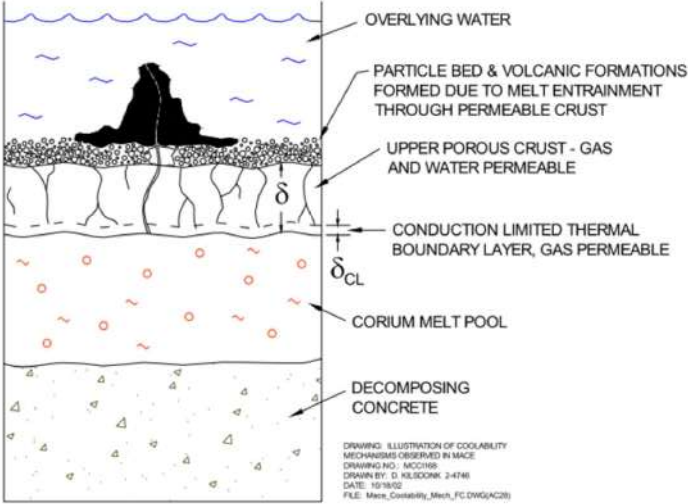
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<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のように、対流熱伝達係数として床方向と側壁方向ともに $300\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$、固化効果項の指数 n に0が設定されている。ここで $300\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$ 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 $80\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$、側壁方向に $300\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$、$n$ に0が設定されている。ここで、$80\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$ 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>MCCI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>※3.1 (11) 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
 <p>(a) クラストへの浸水 (b) デブリの噴出 (c) クラストの破損</p> <p>付図2-9 想定されているデブリ冷却メカニズム^[38]</p>  <p>付図2-10 想定されている火山型クラストの模式図^[12]</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
付表2-2 SSWICS 実験（デブリ冷却実験）条件一覧 ^[12]									
Parameter	Test Number								
	1	2	3	4	5	6	7		
Melt composition (wt % UO ₂ ZrO ₂ Cr concrete)	61/25/6/8	61/25/6/8	61/25/6/8	48/20/9/23	56/23/7/14	56/23/6/14	64/26/6/4		
Concrete type	LCS	SIL	LCS	LCS	LCS	SIL	LCS		
Melt mass (kg)	75	75	75	60	68	68	80		
Melt diameter / depth (cm)	30 / 15	30 / 15	30 / 15	30 / 15	30 / 15	30 / 15	30 / 15		
Basemat type	Inert	Inert	Inert	Inert	Inert	Inert	Inert		
Initial melt temperature (°C)	~2300	~2100	~2100	~2100	~2100	~1950	~2100		
Initial vessel and coolant temperature (°C)	20	20	100	100	100	100	100		
System pressure (bar)	1	1	4	4	4	1	4		
Water injection period (sec)	665	760	183	195	622	215	194		
Water injection flowrate (lpm)	4	4	12	13	6	14	13		
Water injected (liters)	33	39	34	40	61	47	40		
Condensate collected over course of test (kg)	24.7	16.1	28.9	21.9	22.7	27.6	31.4		
Test duration (hours)	2.2	1.2	1.8	2.4	2.6	3.9	1.4		

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

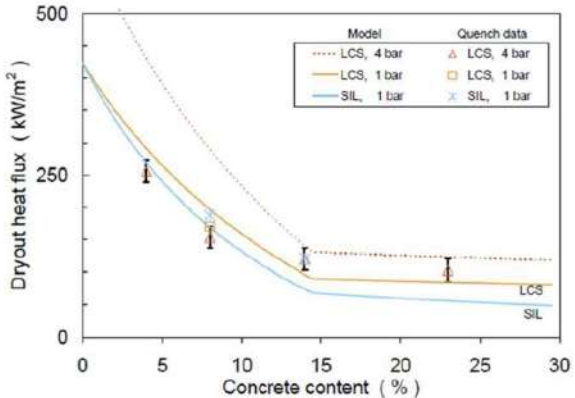
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>注水口</p> <p>蒸気凝縮系へ</p> <p>MgO側壁 (16.4cm)</p> <p>φ30.5cm</p> <p>ZrO₂フェルト</p> <p>タングステン板 (0.25cm)</p> <p>MgO板</p> <p>テルミット 粉末用 イグナイタ</p> <p>テルミット 溶融物</p> <p>ZrO₂板 (1.3cm)</p> <p>付図2-11 小規模浸水・クラスト強度実験 (SSWICS) 装置^[12]</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 2-12 shows the comparison of dryout heat flux between experimental data and the Lister/Epstein model. The y-axis represents Dryout heat flux in kW/m², ranging from 0 to 500. The x-axis represents Concrete content in percent, ranging from 0 to 30. The graph includes curves for LCS (4 bar, 1 bar) and SIL (1 bar) models, along with corresponding quench data points. The experimental data points are shown as triangles and crosses, while the model predictions are shown as solid and dashed lines.</p>																																																																													
<p>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>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"> <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*</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>	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*	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		
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*	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																																																																										
<p>*SIL denotes siliceous concrete, LCS denotes Limestone/Common Sand concrete.</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>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="331 248 853 730"> <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																																																															
<p>付表2-5 CCI 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" data-bbox="152 855 1037 1286"> <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)																												
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)																																																											

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)

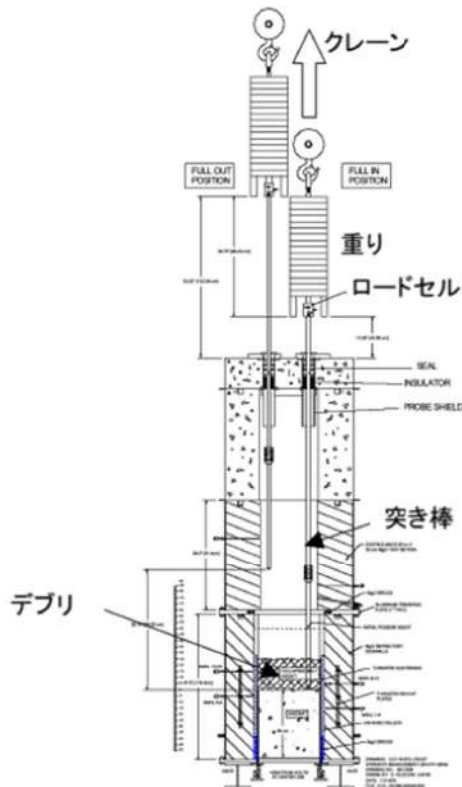
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>付図 2-13 CCI 実験のテスト部^[12]</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="280 1053 918 1077">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>		

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="257 199 929 662"> </p> <p data-bbox="347 710 851 742">付図 2-15 CCI実験におけるデブリー水間の熱流束 [12]</p> <p data-bbox="246 766 952 1252"> </p> <p data-bbox="369 1292 828 1324">付図 2-16 CCI実験における熔融物平均温度 [12]</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

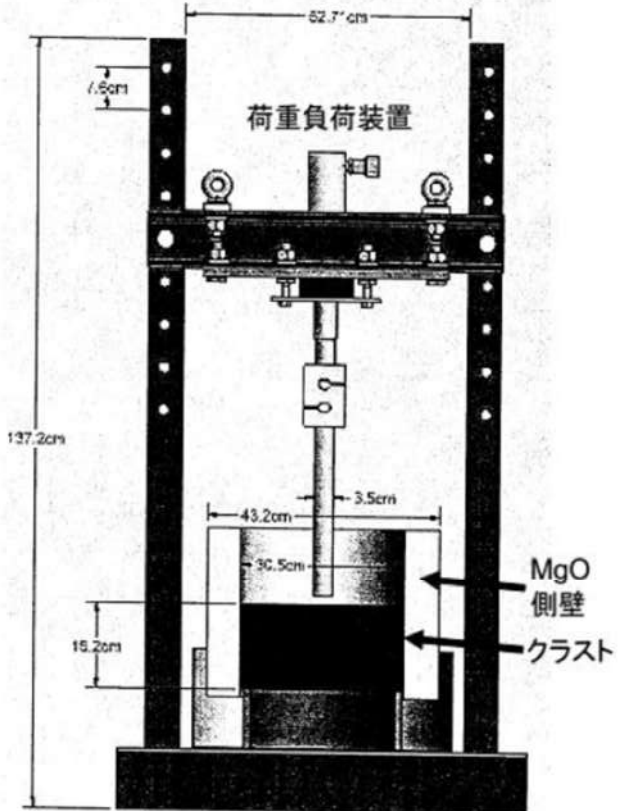
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>付図 2-17 C C I 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>		

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>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>		

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

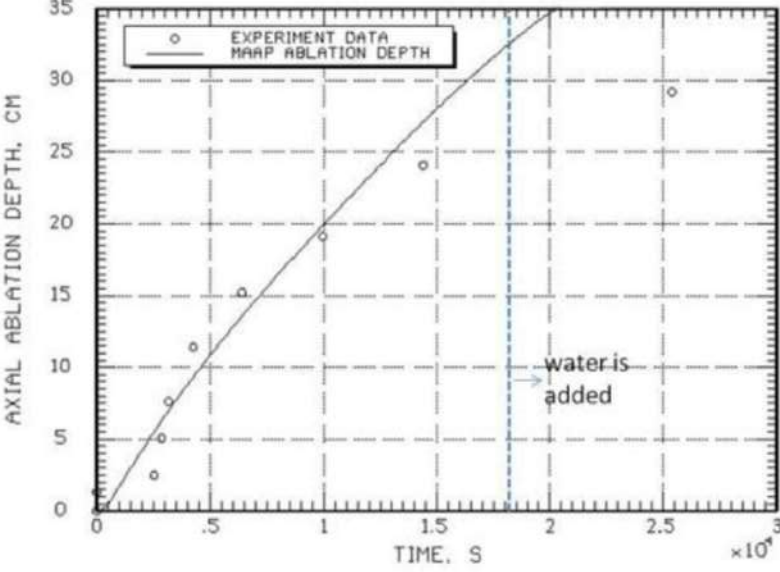
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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="159 177 562 256" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 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="181 316 1025 932" style="border: 2px solid black; height: 386px; margin-bottom: 10px;"> </div> <div data-bbox="349 954 842 978" style="text-align: center;"> 付図 2-19 溶融プールからクラストへの対流熱伝達係数 </div>		

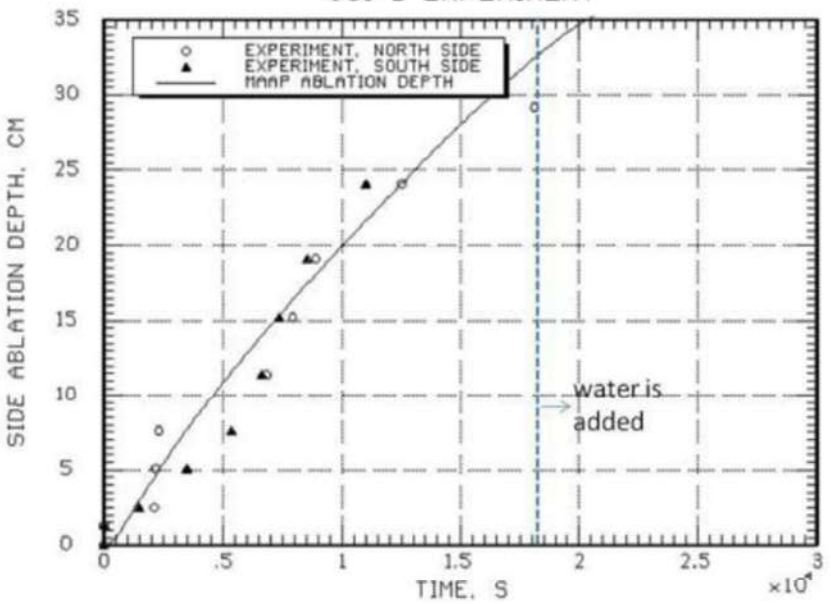
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">CCI-2 EXPERIMENT</p> <p>TEMPERATURE, K</p> <p>TIME, S $\times 10^4$</p> <p>○ EXPERIMENT DATA — MAAP, DEFAULT HI AND N - - - MAAP, NEW HI AND N</p> <p>water is added</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^[35] (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>		

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;">CCI-2 EXPERIMENT</p>  <p style="text-align: center;">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>		

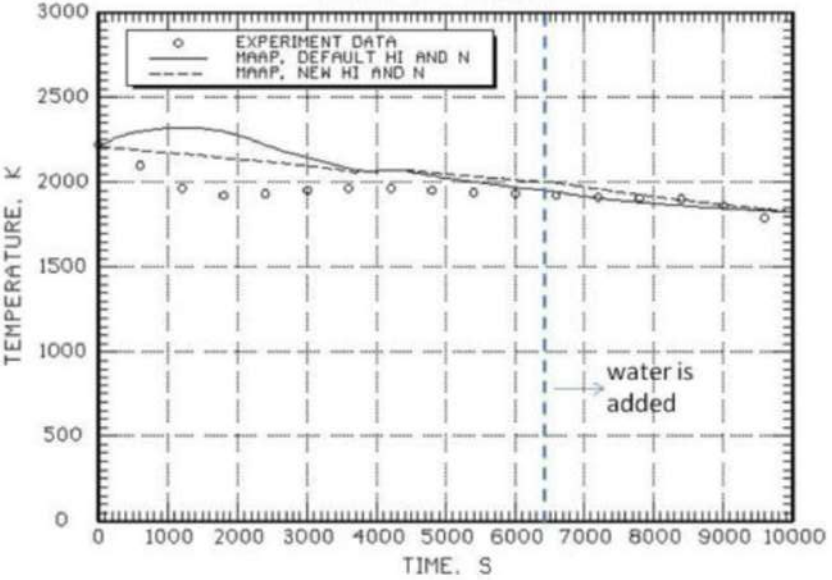
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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;">CCI-2 EXPERIMENT</p>  <p>The graph plots 'SIDE ABLATION DEPTH, CM' on the y-axis (0 to 35) against 'TIME, S' on the x-axis (0 to 3 x 10³). It compares experimental data for the North Side (triangles) and South Side (circles) with a solid line representing the MAA P analysis result. A vertical dashed line at approximately 1.8 x 10³ seconds is labeled 'water is added'.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points from the CCI-2 experiment graph</caption> <thead> <tr> <th>Time (S) x 10³</th> <th>North Side Ablation Depth (cm)</th> <th>South Side Ablation Depth (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>16</td><td>16</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>22</td><td>22</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>24</td><td>24</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>26</td><td>26</td></tr> <tr><td>1.4</td><td>28</td><td>28</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>32</td><td>32</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>34</td><td>34</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>35</td><td>35</td></tr> </tbody> </table> <p>付図 2-22 CCI-2 実験の側壁方向侵食の実験データとMAA P解析結果の比較^[36]</p>	Time (S) x 10 ³	North Side Ablation Depth (cm)	South Side Ablation Depth (cm)	0.1	2	2	0.2	4	4	0.3	6	6	0.4	8	8	0.5	10	10	0.6	12	12	0.7	14	14	0.8	16	16	0.9	18	18	1.0	20	20	1.1	22	22	1.2	24	24	1.3	26	26	1.4	28	28	1.5	30	30	1.6	32	32	1.7	34	34	1.8	35	35		
Time (S) x 10 ³	North Side Ablation Depth (cm)	South Side Ablation Depth (cm)																																																									
0.1	2	2																																																									
0.2	4	4																																																									
0.3	6	6																																																									
0.4	8	8																																																									
0.5	10	10																																																									
0.6	12	12																																																									
0.7	14	14																																																									
0.8	16	16																																																									
0.9	18	18																																																									
1.0	20	20																																																									
1.1	22	22																																																									
1.2	24	24																																																									
1.3	26	26																																																									
1.4	28	28																																																									
1.5	30	30																																																									
1.6	32	32																																																									
1.7	34	34																																																									
1.8	35	35																																																									

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

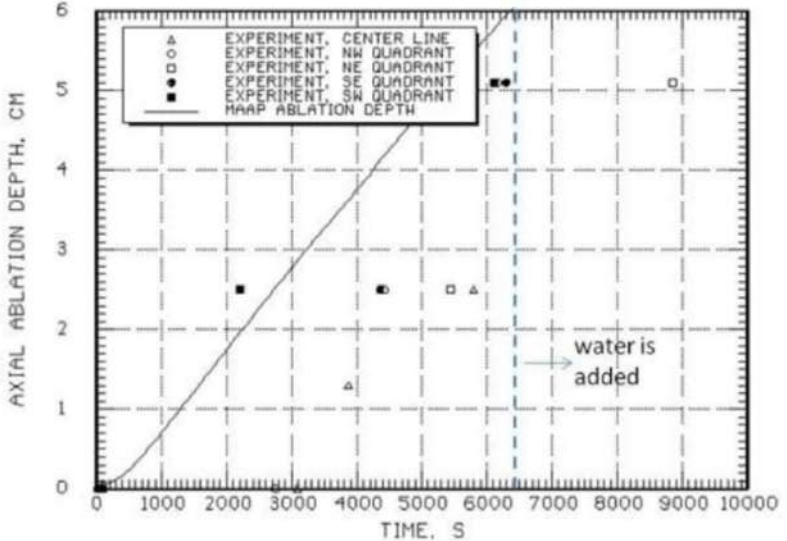
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

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;">CCI-3 EXPERIMENT</p>  <p style="text-align: center;">TEMPERATURE, K</p> <p style="text-align: center;">TIME, S</p> <p style="text-align: center;">water is added</p> <p>付図 2-23 CCI-3 実験のコリウム温度の実験データとMAA P解析結果の比較^[35] (MAA P 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

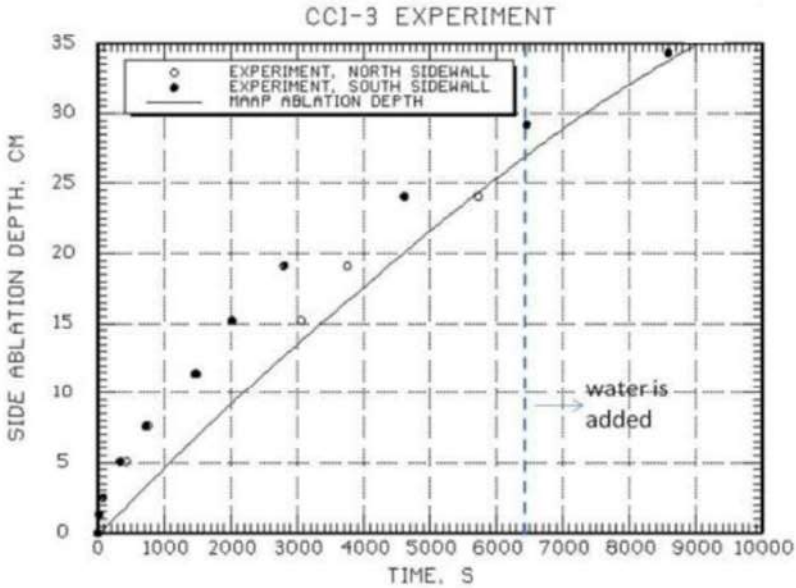
泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

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;">CCI-3 EXPERIMENT</p>  <p>AXIAL ABLATION DEPTH, CM</p> <p>TIME, S</p> <p>water is added</p> <p>Legend: △ EXPERIMENT, CENTER LINE ○ EXPERIMENT, NW QUADRANT □ EXPERIMENT, NE QUADRANT ● EXPERIMENT, SE QUADRANT ■ EXPERIMENT, SW QUADRANT — MAAP ABLATION DEPTH</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]

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;">CCI-3 EXPERIMENT</p>  <p>The graph plots 'SIDE ABLATION DEPTH, CM' on the y-axis (0 to 35) against 'TIME, S' on the x-axis (0 to 10000). It compares experimental data for the north and south sidewalls against a MAA P model prediction. An arrow points to the 6000s mark with the text 'water is added'.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points from the CCI-3 Experiment graph</caption> <thead> <tr> <th>Time (S)</th> <th>North Sidewall (cm)</th> <th>South Sidewall (cm)</th> <th>MAA P Model (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1000</td><td>5</td><td>8</td><td>5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>10</td><td>15</td><td>10</td></tr> <tr><td>3000</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td></tr> <tr><td>4000</td><td>20</td><td>25</td><td>20</td></tr> <tr><td>5000</td><td>25</td><td>30</td><td>25</td></tr> <tr><td>6000</td><td>30</td><td>35</td><td>30</td></tr> <tr><td>7000</td><td>35</td><td>40</td><td>35</td></tr> </tbody> </table>	Time (S)	North Sidewall (cm)	South Sidewall (cm)	MAA P Model (cm)	0	0	0	0	1000	5	8	5	2000	10	15	10	3000	15	20	15	4000	20	25	20	5000	25	30	25	6000	30	35	30	7000	35	40	35		
Time (S)	North Sidewall (cm)	South Sidewall (cm)	MAA P Model (cm)																																			
0	0	0	0																																			
1000	5	8	5																																			
2000	10	15	10																																			
3000	15	20	15																																			
4000	20	25	20																																			
5000	25	30	25																																			
6000	30	35	30																																			
7000	35	40	35																																			

付図 2-25 CCI-3 実験の側壁方向侵食の実験データとMAA P解析結果の比較^[35]

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>付録3 熔融物の水中落下時の粒子化実験と解析モデル</p> <p>熔融物が水中に落下した場合の粒子化現象については、主に熔融炉心と冷却材の相互作用（FCI）を調べるために行われてきた。ここでは、以下の実験についての知見を述べる。</p> <p>(1) FARO 実験（イタリア JRC-ISPRA） (2) COTELS-FCI 実験（日本 NUPEC） (3) DEFOR 実験（スウェーデン KTH）</p> <p>また、MAAPコードでは、熔融炉心が原子炉圧力容器下部プレナム水等に落下する場合の粒子化割合を評価しており、Ricou-Spalding 相関式又はSaitoの相関式が用いられている。ここではこれらの相関式の元になった実験についても説明する。</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熔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 りつぽと実験容器 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 りつぽで生成された熔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熔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熔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。 ・ 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%が粒子化したが、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）。 	<p>【泊では本文3.に記載】</p>	<p>※3.1 (7)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>・ 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> <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="181 438 1016 738"> <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		
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																																																																																																																																																																																																																			

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

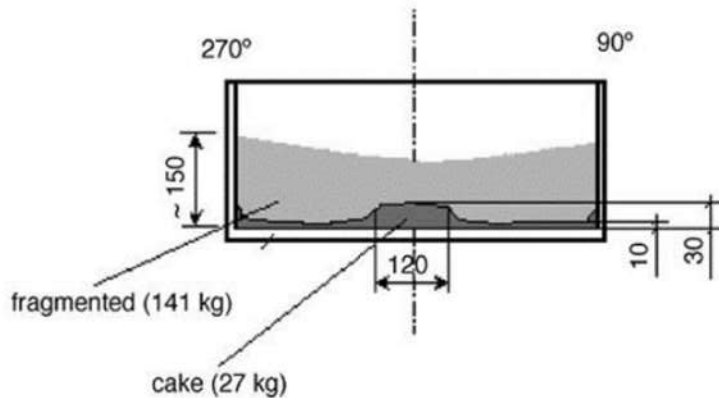
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて (添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>付図3-1 FARO 実験装置 (L-27 実験) [14]</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>付図3-2 FARO L-24 実験後のデブリの堆積状態（数値単位mm）^[14]</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>(a) View of the debris as found</p>   <p>(b) View of the cake after partial removal of loose debris (c) View of blocks after breaking the cake</p> <p>付図 3-3 FARO/L-33 実験後のデブリ取り出し段階ごとのデブリ状態^[4] (低圧, サブクール水)</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

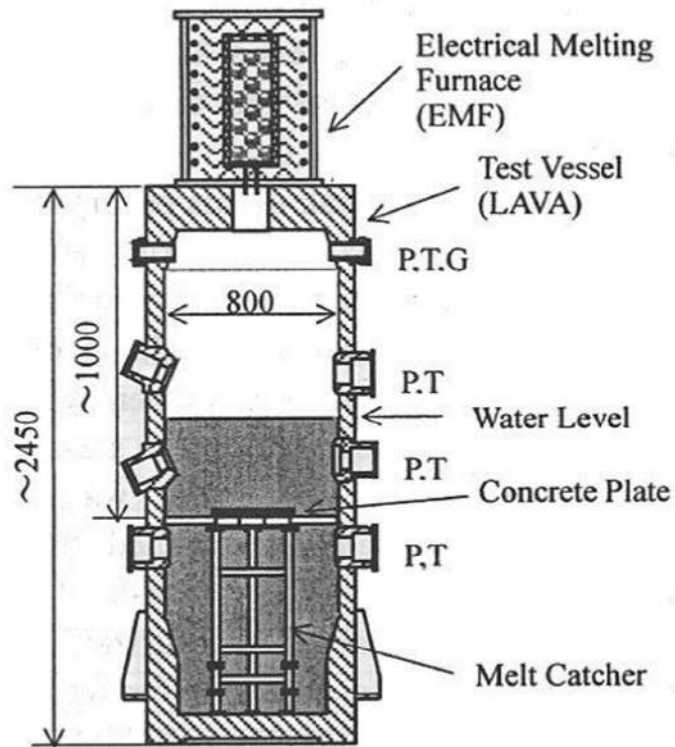
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																																														
<p>(2) COTELS-FCI 実験（日本 NUPEC）^{[1][6]}</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混合物を溶融物として用い、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混合物を溶融させる電気炉とその下に溶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混合物を加熱溶融可能である。つぼ下部には、溶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混合物が溶融後、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、溶融コリウム/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。実験マトリックスと主な結果を付表3-2に示す。</p> <p style="text-align: center;">付表3-2 COTELS-FCI 実験マトリックス^[1]</p> <table border="1" data-bbox="152 794 1037 1206"> <thead> <tr> <th>Run No.</th> <th>A1</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>A6</th> <th>A7</th> <th>A8</th> <th>A9</th> <th>A10</th> <th>A11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コリウム組成(*1)</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>落下コリウム量, kg</td> <td>56.3</td> <td>27.0</td> <td>55.4</td> <td>53.1</td> <td>24.9</td> <td>47.7</td> <td>57.1</td> <td>55.0</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>プール水深, m</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>1.0</td> <td>0.4</td> <td>0.9</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>水サブクール度, K</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>86</td> </tr> <tr> <td>初気圧, MPa</td> <td>0.20</td> <td>0.30</td> <td>0.25</td> <td>0.21</td> <td>0.18</td> <td>0.45</td> <td>0.21</td> <td>0.47</td> <td>0.27</td> </tr> <tr> <td>雰囲気ガス組成</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> <td>Steam N₂20%</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> <td>Ar</td> </tr> <tr> <td>差圧, MPa(*2)</td> <td>0.03</td> <td>0.03</td> <td>0.01</td> <td>-0</td> <td>-0</td> <td>0.67(*3)</td> <td>0.02</td> <td>0.14</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>ピーク圧力, MPa</td> <td>1.34</td> <td>1.04</td> <td>0.62</td> <td>0.88</td> <td>(*4)</td> <td>1.83</td> <td>0.92</td> <td>3.85</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td>インレットコリウム, kg</td> <td>5</td> <td>2.5</td> <td>4.2</td> <td>6.5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>3.8</td> <td>0</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>質量中央径, mm</td> <td>6.7</td> <td>6.2</td> <td>7.5</td> <td>7.2</td> <td>8.2</td> <td>5.2</td> <td>7.0</td> <td>0.38</td> <td>4.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1)コリウム組成 B: UO₂:55wt%+Zr:25%+ZrO₂:5%+SS:15%</p>	Run No.	A1	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	コリウム組成(*1)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	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	プール水深, m	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0	0.4	0.9	0.4	0.8	水サブクール度, K	0	8	12	21	0	21	0	21	86	初気圧, MPa	0.20	0.30	0.25	0.21	0.18	0.45	0.21	0.47	0.27	雰囲気ガス組成	Steam	Steam	Steam N ₂ 20%	Steam	Steam	Steam	Steam	Steam	Ar	差圧, MPa(*2)	0.03	0.03	0.01	-0	-0	0.67(*3)	0.02	0.14	0.13	ピーク圧力, MPa	1.34	1.04	0.62	0.88	(*4)	1.83	0.92	3.85	1.08	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		<p>※3.1 (8) に記載</p>
Run No.	A1	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11																																																																																																							
コリウム組成(*1)	B	B	B	B	B	B	B	B	B																																																																																																							
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																																																																																																							
プール水深, m	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0	0.4	0.9	0.4	0.8																																																																																																							
水サブクール度, K	0	8	12	21	0	21	0	21	86																																																																																																							
初気圧, MPa	0.20	0.30	0.25	0.21	0.18	0.45	0.21	0.47	0.27																																																																																																							
雰囲気ガス組成	Steam	Steam	Steam N ₂ 20%	Steam	Steam	Steam	Steam	Steam	Ar																																																																																																							
差圧, MPa(*2)	0.03	0.03	0.01	-0	-0	0.67(*3)	0.02	0.14	0.13																																																																																																							
ピーク圧力, MPa	1.34	1.04	0.62	0.88	(*4)	1.83	0.92	3.85	1.08																																																																																																							
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																																																																																																							

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="268 638 313 750">~2450</p> <p data-bbox="336 558 380 638">~1000</p> <p data-bbox="470 526 537 558">800</p> <p data-bbox="470 1005 582 1037">[] mm</p> <p data-bbox="358 1037 761 1117">P: Pressure, T: Temperature, G: Gas sampling line</p> <p data-bbox="425 1149 739 1181">付図3-4 COTELS-FCI 実験装置^[15]</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

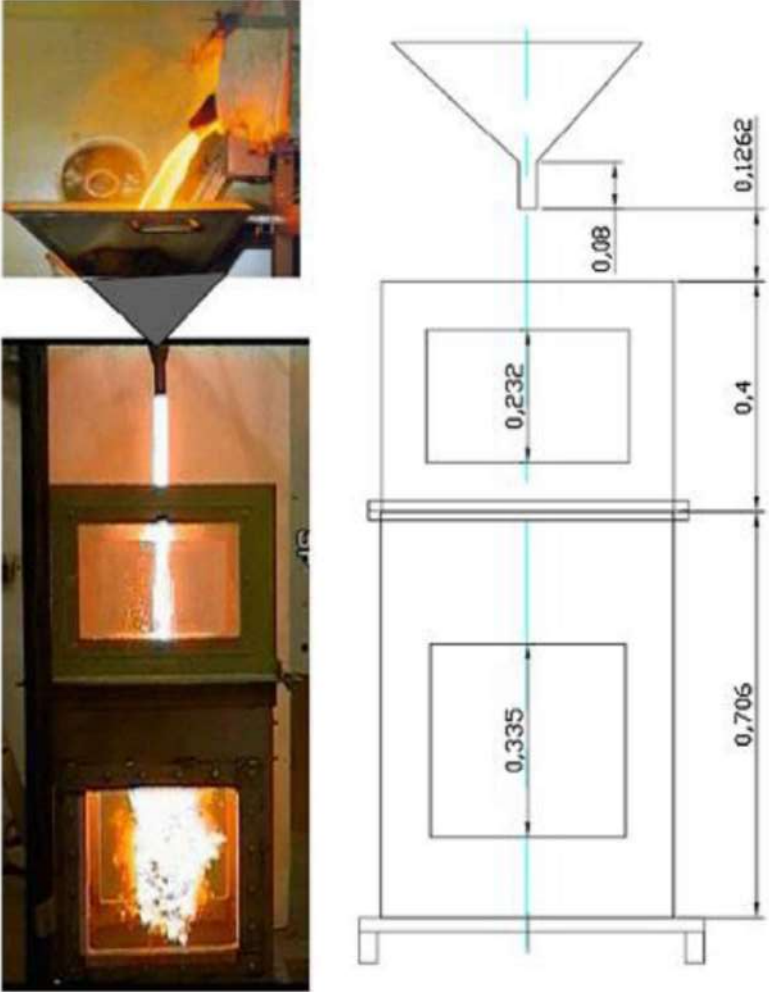
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																															
<p>(3) DEFOR 実験（スウェーデン KTH）^[16]</p> <p>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。熔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、熔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。熔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ケースの熔融物は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。</p> <p>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 style="text-align: center;">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" data-bbox="152 746 1039 890"> <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		<p>※3.1 (10) に記載</p>
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																																																										

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="459 1262 728 1286">付図 3-5 DEFOR-E 実験装置^[16]</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
<div data-bbox="152 220 573 545" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="268 547 396 576" data-label="Caption"> <p>DEFOR- E1</p> </div> <div data-bbox="589 220 1023 545" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="728 547 855 576" data-label="Caption"> <p>DEFOR- E4</p> </div> <div data-bbox="311 576 815 876" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="463 844 591 873" data-label="Caption"> <p>DEFOR- E7</p> </div> <div data-bbox="403 880 784 914" data-label="Caption"> <p>付図3-6 DEFOR-E 実験後のデブリ状態^[16]</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

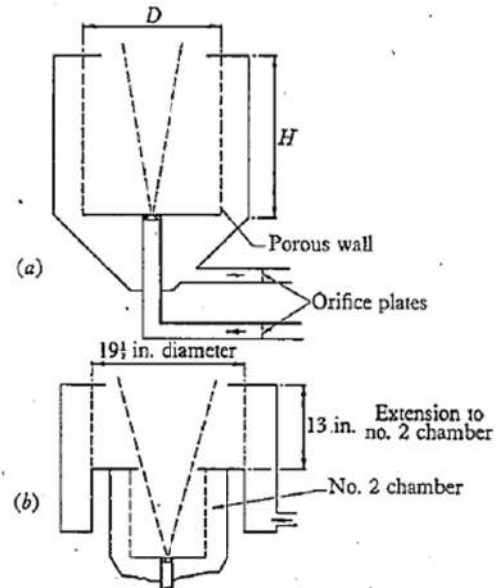
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(4) 熔融物落下時の水中での粒子化割合の解析モデル</p> <p>水中落下時の熔融物の粒子化現象について、これまで種々の実験的研究が行われており、また粒子化割合については相関式も提案されている。ここでは、粒子化現象に関する相関式を用いて、熔融炉心ジェットのパデスタル水プールの条件に対する粒子化割合を評価した。相関式として、MAAPコードで使用されている以下の二つの式を用いて計算を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Ricou-Spalding の相関式 ・ Saito の相関式 <p>a) Ricou-Spalding の粒子化相関式^{[25][34]}</p> <p>Ricou-Spalding の相関式は、空気中へガスジェットを噴出させたエントレインメント実験から得られたもので（実験装置は付図3-7参照）、周囲の流体（空気）がガスジェットによってエントレインされ（巻き込まれ）、ジェット質量流量が距離とともに増加することを相関づけた整理式である。式の検証例を付図3-8に示す。</p> <p>これをメルトジェットのブレイクアップに適用するため、周囲の流体（水）がメルトジェットにエントレインされると考え、そのエントレインされた分だけメルトジェットが侵食され粒子化すると、円柱ジェットのエントレインメント速度（m/s）を、次式で与えている（付図3-9参照）。</p> $m_{ent} = E_o \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} u_{dj}$ <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_{dj}：ジェット密度 [kg/m³] ρ_w：水密度 [kg/m³]</p>		<p>※添付2 3.2 (2)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）

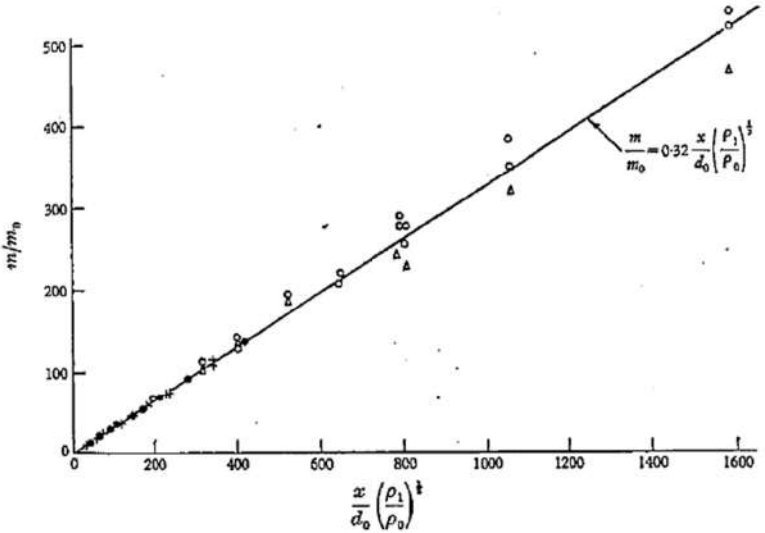
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																
 <p>FIGURE 1. (a) Leading dimensions of three chambers. (b) Dimensions of extension to no. 2 chamber.</p> <table border="1" data-bbox="358 893 851 1021"> <thead> <tr> <th colspan="4">Entrainment chamber</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H in.</td> <td>8.7</td> <td>13</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>D in.</td> <td>5.8</td> <td>8.9</td> <td>8.9</td> </tr> </tbody> </table>	Entrainment chamber				No.	1	2	3	H in.	8.7	13	3	D in.	5.8	8.9	8.9		
Entrainment chamber																		
No.	1	2	3															
H in.	8.7	13	3															
D in.	5.8	8.9	8.9															

付図3-7 Ricou-Spalding のエントレイメント実験装置^[25]

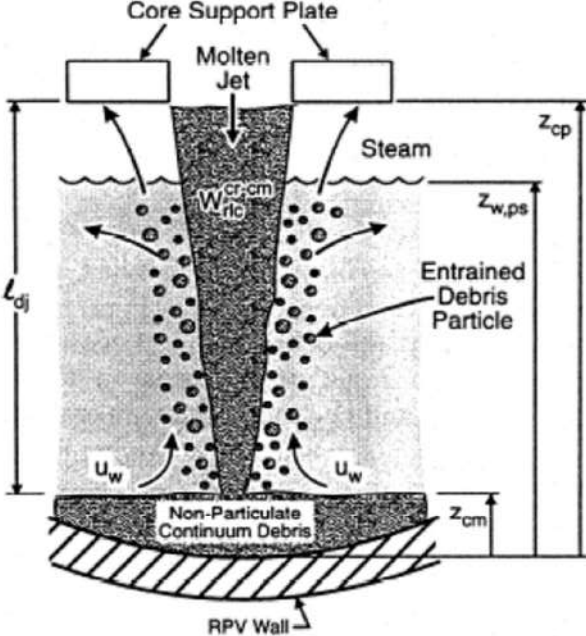
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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="190 774 1019 837">FIGURE 5. Entrainment rate for isothermal jets. Experimental results: (a) ●, air into air; (b) +, propane and carbon dioxide into air; (c), ○, hydrogen into air; (Δ, entrainment chamber inverted).</p> <p data-bbox="392 917 806 949">付図 3-8 Ricou-Spalding の相関式の検証例^[25]</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>Fig. 3. Molten debris jet breakup and quenching.</p>		

付図3-9 溶融デブリのジェットブレイクアップとクエンチの概念^[34]

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

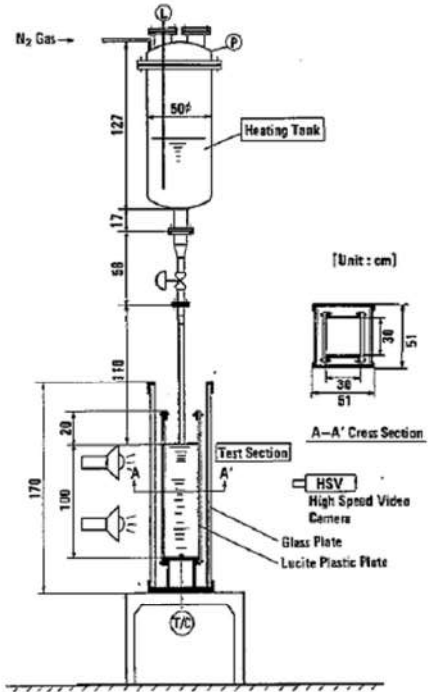
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>b) Saito の相関式^[26]</p> <p>フレオン11あるいは液体窒素の中に高温水ジェットを吹き込む実験により、ジェットのブレイクアップ長さに関する相関式を導出している。実験装置を付図3-10に示す。実験条件は、ノズル直径5～40mm、ジェット速度2.5～15m/sである。実験結果は、付図3-11にまとめられ、それに基づき下記相関式が導かれた。</p> $\frac{L}{D_j} = 2.1 \times \left(\frac{\rho_j}{\rho_c}\right)^{0.5} \times F_r^{0.5}$ <p>ここで、 F_r：フルード数 $= \frac{V_j^2}{(g \times D_j)}$</p> <p>L：ジェットのブレイクアップ長さ [m] D_j：ジェット直径 [m] ρ_j：ジェット密度 [kg/m³] ρ_c：冷却材密度 [kg/m³] V_j：ジェット速度 [m/s] g：重力加速度 [m/s²]</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

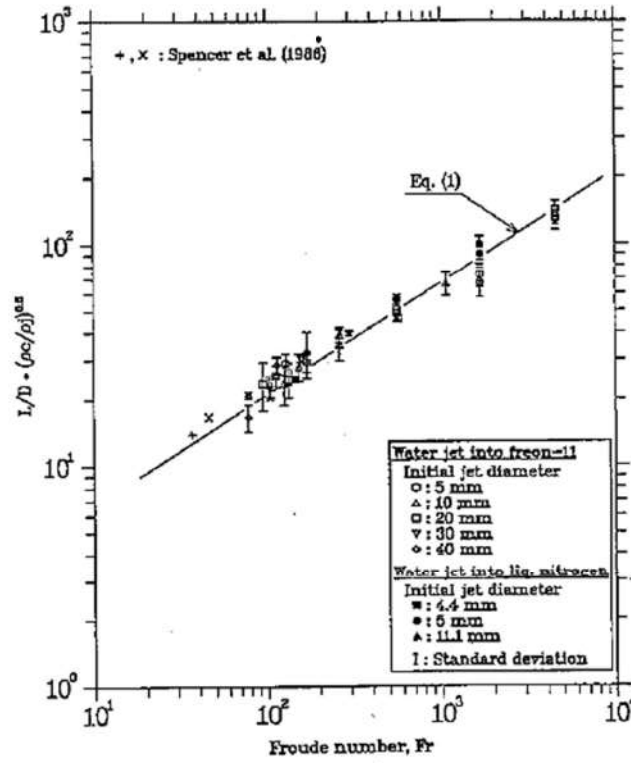
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>Fig. 1 JET-I experimental facility</p> <p>付図3-10 Saito らの実験装置^[33]</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="268 223 896 989"> $L/D \cdot (\rho_c/\rho)^{0.25}$ 10^3 10^2 10^1 10^0 10^1 10^2 10^3 10^4 Froude number, Fr Eq. (1) Spencer et al. (1986) Water jet into Freon-11 Initial jet diameter ○: 5 mm △: 10 mm □: 20 mm ▽: 30 mm ◇: 40 mm Water jet into liq. nitrogen Initial jet diameter ■: 4.4 mm ●: 5 mm ▲: 11.1 mm I: Standard deviation </p> <p data-bbox="313 1021 851 1077"> Fig. 8 Experimental correlation for jet mean penetration length </p> <p data-bbox="448 1117 739 1149"> 付図3-11 Saito らの実験結果^[33] </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>c) 相関式の適用性に関する検討^[33]</p> <p>Ricou-Spaldingの相関式は、ガスジェットの空気中でのガス巻き込み現象に基づき作成された相関式であるため、溶融炉心物質ジェットの水中での粒子化現象への適用性の確認のため、ALPHA-MJB実験、FARO-TERMOS実験を対象に比較計算された結果を示す。</p> <p>あわせてSaitoの相関式との比較も示す。Saitoの相関式ではジェットのブレイクアップ長さが与えられるので、ジェットの突入から消滅までジェット径が直線的に減少すると仮定して粒子化割合が求められている。</p> <p>(a) ALPHA-MJB実験</p> <p>水中に鉛-ビスマスの溶融物を落下させた実験であり、密度や速度といった計算条件は付表3-4の値が用いられている。実験結果と計算結果の比較を付図3-12及び付図3-13に示す。実験結果は、ジェットブレイクアップ長さとして記載されている水深を、粒子化割合100%として記す。Ricou-Spalding相関式における係数E₀の値は、MAAP推奨値\squareを使用することで、実験結果及びSaitoの相関式とよく一致する結果が得られている。</p> <div 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
付表 3-4 ALPHA-MJB 実験の検証解析条件 ^[33]						
ケース	溶融物密度 (kg/m ³)	水密度 (kg/m ³)	ジェット径 (m)	ジェット速度 (m/s)		
MJB01	10453	958	0.03	3.05		
MJB02	↑	↑	0.021	2.86		
(補足) 溶融物密度は鉛-ビスマス 500K での値を使用						
						
付図 3-12 ALPHA-MJB01 実験結果との比較 ^[33]						
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

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="174 193 1032 619" style="border: 2px solid black; height: 267px; width: 383px; margin-bottom: 10px;"></div> <div data-bbox="398 644 804 673" style="text-align: center;">付図 3-13 ALPHA-MJB02 実験結果との比較^[33]</div> <div data-bbox="179 713 378 742">(b) FARO-TERMOS 実験</div> <div data-bbox="194 746 1041 912"> <p>水中に実機燃料組成を模擬した溶融物を落下させた実験であり、密度、速度等の条件は付表 3-5 の値が用いられている。実験結果と計算結果の比較を付図 3-14、付図 3-15、付図 3-16、付図 3-17、付図 3-18 及び付図 3-19 に示す。実験結果は水プール水深に対する粒子化割合として示されている。計算結果は、実験結果とよく合っているか粒子化割合を小さく評価している。なお、Ricou-Spalding 相関式における係数 E_0 の値は が使用されている。</p> </div> <div data-bbox="380 949 801 978" style="text-align: center;">付表 3-5 FARO-TERMOS 実験の検証解析条件^[33]</div> <div data-bbox="145 983 1048 1254" style="border: 2px solid black; height: 170px; width: 383px; margin-top: 10px;"></div> <div data-bbox="145 1332 555 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>		

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>付図3-14 FARO-L06 実験結果との比較^[33]</p>		
		
<p>付図3-15 FARO-L08 実験結果との比較^[33]</p>		
<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>		

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>付図3-16 FARO-L11 実験結果との比較^[33]</p>		
		
<p>付図3-17 FARO-L14 実験結果との比較^[33]</p>		
<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>		

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>付図 3-18 FARO-L19 実験結果との比較^[33]</p>		
		
<p>付図 3-19 FARO-L20 実験結果との比較^[33]</p>		
<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>		

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>d) 格納容器ペDESTAL水張り水深に対する粒子化割合の評価^[33]</p> <p>Ricou-Spalding の相関式及びSaito の相関式に基づき、大気圧飽和状態の水ブールを想定し、水深とジェット直径及びジェット速度をパラメータとして粒子化割合を整理されたものを付図3-20、付図3-21及び付図3-22に示す。</p> <div data-bbox="145 347 1048 869" style="border: 2px solid black; height: 327px; width: 403px;"></div> <p>付図3-20 Ricou-Spalding 相関式による粒子化割合のマップ^[33]</p> <div data-bbox="145 1023 557 1115" style="border: 1px solid black; padding: 5px; 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="145 212 1048 742" style="border: 2px solid black; height: 332px; width: 403px;"></div> <p data-bbox="286 751 909 774">付図3-21 Saito の相関式による粒子化割合のマップ (Vj=5.0m/s) ^[33]</p> <div data-bbox="152 1058 557 1150" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 100px;"> <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
<div data-bbox="145 193 1032 746" style="border: 2px solid black; height: 347px; width: 396px;"></div> <p data-bbox="277 751 913 775">付図 3-22 Saito の相関式による粒子化割合のマップ (Vj=10.0m/s) ^[39]</p> <div data-bbox="152 1129 557 1217" 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>付録4 熔融物の拡がり実験</p> <p>熔融物の拡がり挙動に関して、付表4-1に示す実験的研究が実施されている。この中で水が存在する場合の熔融物の拡がりに関する主要な知見について以下に整理する。</p> <p>付表4-1 熔融物拡がりに関する主な実験^[27]</p> <table border="1" data-bbox="152 451 1034 746"> <thead> <tr> <th>実験名</th> <th>実施国</th> <th>拡がり形状</th> <th>熔融物</th> <th>その他</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BNL^[18]</td> <td>米国</td> <td>2D</td> <td>Pb</td> <td>ドライ、ウエット</td> </tr> <tr> <td>SPREAD^[19]</td> <td>日本</td> <td>1D, 2D</td> <td>ステンレススチール</td> <td>ドライ、ウエット</td> </tr> <tr> <td>CORINE^[36]</td> <td>フランス</td> <td>2D</td> <td>グリセロール他</td> <td>ドライ、ウエット</td> </tr> <tr> <td>VULCANO</td> <td>フランス</td> <td>2D</td> <td>コリウム</td> <td>ドライ</td> </tr> <tr> <td>KATS^[23]</td> <td>ドイツ</td> <td>1D, 2D</td> <td>テルミット</td> <td>ドライ、ウエット</td> </tr> <tr> <td>COMAS</td> <td>ドイツ</td> <td>1D, 2D</td> <td>コリウム</td> <td>ドライ</td> </tr> <tr> <td>ISPRA</td> <td>EU JRAC</td> <td>2D</td> <td>コリウム</td> <td>ドライ</td> </tr> <tr> <td>S3E^[27]</td> <td>スウェーデン</td> <td>1D, 2D</td> <td>模擬物(ウッズメタル等)</td> <td>ドライ、ウエット</td> </tr> <tr> <td>PULiMS^[21]</td> <td></td> <td>2D</td> <td>模擬物(B₂O₃-WO₃等)</td> <td>ウエット</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) 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]}</p> <p>Mark-I型格納容器のシェルアタックに関してROAM手法による確率論的評価^[17]が行われており、その中で水張り時のデブリの拡がりの評価が行われている。熔融物拡がり挙動解析には、MELTS SPREADコードが使用されている。熔融物の拡がり挙動には、熔融物落下流量、熔融物成分、熔融物過熱度が主に影響するとされている。</p> <p>米国BNLでは、熔融物として鉛を使用した小規模な拡がり実験を、ドライ条件とウエット条件で行っている^[18]。熔融物の過熱度と水深が、デブリ拡がり挙動において重要であること、熔融物の拡がりは、水への熱伝達による熔融物の温度挙動と、熔融物の流体力学的挙動により制限されることが示されている。</p>	実験名	実施国	拡がり形状	熔融物	その他	BNL ^[18]	米国	2D	Pb	ドライ、ウエット	SPREAD ^[19]	日本	1D, 2D	ステンレススチール	ドライ、ウエット	CORINE ^[36]	フランス	2D	グリセロール他	ドライ、ウエット	VULCANO	フランス	2D	コリウム	ドライ	KATS ^[23]	ドイツ	1D, 2D	テルミット	ドライ、ウエット	COMAS	ドイツ	1D, 2D	コリウム	ドライ	ISPRA	EU JRAC	2D	コリウム	ドライ	S3E ^[27]	スウェーデン	1D, 2D	模擬物(ウッズメタル等)	ドライ、ウエット	PULiMS ^[21]		2D	模擬物(B ₂ O ₃ -WO ₃ 等)	ウエット	<p>添付3-1</p> <p>熔融炉心の水中での拡がり評価について</p> <p>1.はじめに</p> <p>熔融炉心が原子炉下部キャビティ水中に落下した場合、実機条件では水深に対するジェット径が相対的に大きいため、落下過程において熔融炉心の一部は細粒化するものの、その大部分が連続層として水中に堆積すると考えられる。本資料では、水中での熔融炉心の拡がり挙動について説明し、実機に適用した場合の評価について説明する。</p>	<p>※BWR特有の評価</p>
実験名	実施国	拡がり形状	熔融物	その他																																																
BNL ^[18]	米国	2D	Pb	ドライ、ウエット																																																
SPREAD ^[19]	日本	1D, 2D	ステンレススチール	ドライ、ウエット																																																
CORINE ^[36]	フランス	2D	グリセロール他	ドライ、ウエット																																																
VULCANO	フランス	2D	コリウム	ドライ																																																
KATS ^[23]	ドイツ	1D, 2D	テルミット	ドライ、ウエット																																																
COMAS	ドイツ	1D, 2D	コリウム	ドライ																																																
ISPRA	EU JRAC	2D	コリウム	ドライ																																																
S3E ^[27]	スウェーデン	1D, 2D	模擬物(ウッズメタル等)	ドライ、ウエット																																																
PULiMS ^[21]		2D	模擬物(B ₂ O ₃ -WO ₃ 等)	ウエット																																																

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
【比較のため掲載順を入替え】		
<p>(3) KTHの溶融物拡がり研究^{[21][27]}</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>	<p>2. 水中での拡がり挙動に関する実験的知見と考察</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^[1]を実施している。この実験では、浅い水プールへ溶融したBi₂O₃-WO₃合金を流入させ、その拡がり挙動を観察した。水中へ流入した溶融物は、水との熱伝達により徐々に固化し、ある程度床上を拡がる結果となった。固化した溶融炉心層は3層を形成し、溶融炉心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（図2.1）、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）層で空隙無し、中間層は割れ目や細長い孔を含む。最上部は不規則な構造で高多孔性である。</p>	
<p>スウェーデンKTHでは、溶融物拡がりの小規模実験として、S3E 実験^[27]が行われている。種々の溶融物と冷却材の組合せ（例 ウッズメタル-水、塩（NaNO₃-KNO₃）-パラフィン）で溶融物温度、溶融物流量等をパラメータに、溶融物の拡がり挙動に関するデータが取られている。溶融物が冷却される過程において、低密度の多孔質の層が形成される結果が得られており、溶融物の流れにより、この多孔質層が持ち上げられ、流量（慣性力）によって決定される距離まで拡がる挙動を示した。</p>	<p>スウェーデン王立工科大学（KTH）において実施されたS3E 実験^[2]では、溶融物が冷却される過程において、低密度の多孔質の層が形成される結果が得られている。溶融物の流れにより、この多孔質層が持ち上げられ、質量流量（慣性力）によって決定される距離まで拡がる挙動を示した。</p>	
<p>国内BWR産業界では、SPREAD 実験^{[19][20]}が実施されている。溶融物として約2000Kに加熱したステンレススチールを用い、溶融物落下流量、水深、溶融物過熱度等を変化させて、格納容器模擬試験体（一次元形状と二次元形状の2種類、二次元形状は付図4-1を参照）に放出し、溶融物の拡がり挙動に関する基礎的なデータを収集した。実験条件を付表4-2に示す。また、溶融物の拡がりを解析するSPREADコードが開発されている。溶融物が重力で拡がると仮定し、熱源として崩壊熱及び化学反応を考慮し、床コンクリートや上面の水プールへの伝熱を考慮し、質量、運動量及びエネルギーのバランスを解くことにより、溶融物の移動速度と溶融物厚さを求めている。（付図4-2参照）このモデルでは、流動限界固相率を超えた時点で流動が停止すると仮定されており、実験データを再現する流動限界固相率として55%が使用されている。二次元体系に対する実験結果と解析結果の比較を付図4-3に示すが、よい一致が示されている。</p>	<p>米国Brookhaven National Laboratoryにおいて実施されたBNL 実験^[3]においては、溶融物の過熱度と水深が、溶融炉心拡がり挙動において重要であると結論付けられている。溶融物の拡がりは、水への熱伝達による溶融物の温度の挙動と、溶融物の流体力学的挙動により制限されると結論付けられている。</p> <p>日立製作所において実施されたSPREAD 実験^[4]では、固化割合が約55%になった場合に溶融物の拡がりは停止しており、溶融物の拡がりは落下質量流量と溶融物の過熱度に影響されるとされている。</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

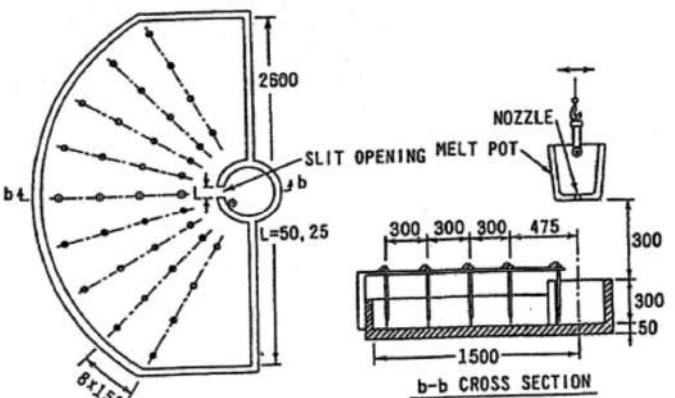
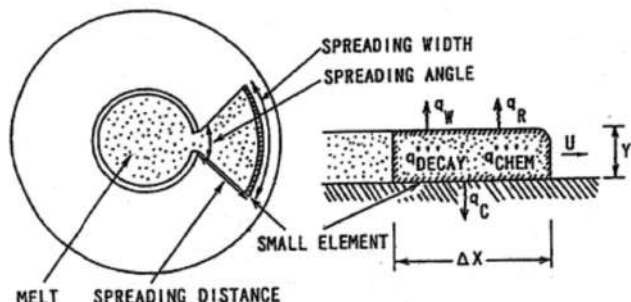
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【比較のため掲載順を入替え】</p>		
<p>独カールスルーエ研究センター（FZK）で実施されたKATS 実験^{[23][29][30]}では、溶融物としてテルミット（Al₂O₃ 約150kg、Fe 約150kg）が使用され、溶融物の放出速度や温度、拡がり形状（1D, 2D）、床の材質（コンクリート、セラミック、コーティング）、水の有無をパラメータに溶融物の拡がり実験が行われている。実験装置を付図4-4及び付図4-5に示す。Al₂O₃とFeでは密度が異なり成層化するため、溶融物の出口を2箇所設け、最初にAl₂O₃が放出し、最後にFeを放出することにより酸化溶融物の拡がりや金属溶融物の拡がりを分けて実験が可能となっている。実験条件を付表4-3に示す。</p> <p>KATS-10とKATS-11の実験条件はほぼ同様であるが、KATS-10の方は1mmの水張りをしてあり、KATS-11の方はドライ条件となっている。両者の拡がり結果を付図4-6に示すが、両ケースのように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結果となっている。</p>	<p>ドイツのカールスルーエ研究センター（FZK）において実施されたKATS 実験^[5]では、溶融物の放出速度が比較的大きい場合は、拡がり挙動は大きな影響を受けない（冷却水が無い場合と同様な拡がりになる）とされている。</p>	
<p>CEA/DRN/DTPで行われたCORINE 実験^[36]では、低融点物質（グリセロール他）を模擬物質として使用して、水中での拡がり挙動を調べる実験が実施され、拡がり先端の移動速度や底部に形成されるクラストの影響が調べられた。</p>	<p>CEA/DRN/DTPで行われたCORINE 実験^[6]では、低融点合金を模擬物質として使用して、底部でのクラスト形成を防止するために底部を熱くした試験が実施された。その結果、先端が著しく速く進展したことが示され、底部クラストによる減速効果が示された。</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>付図4-1 溶融物拡がり実験の試験体（二次元形状）^[20]</p>  <p>付図4-2 SPREAD コードの概念図^[20]</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			
【比較のため掲載順を入替え】					
付図4-7 PULiMS 実験装置の概要図 ^[21]					
付表4-4 PULiMS 実験条件 [21]					
Parameter	PULiMS tests				
	E1	E2	E3	E4	E5
Melt material	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	B ₂ O ₃ -CaO	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	ZrO ₂ -WO ₃
Melt mass composition, %	42.64-57.36 eutectic	30-70 non-eutectic	42.64-57.36 eutectic	42.64-57.36 eutectic	15.74-84.26 eutectic
Melt jet diameter, mm	20	20	20	20	20
Jet free fall height, mm	400	400	400	400	400
Initial melt volume, L	3	3	10	6	6
Initial melt mass, kg	23.4	7.5	78.1	46.9	41.2
T _{sub} , °C	870	1027	870	870	1231
T _{high} , °C	870	1027	870	870	1231
Melt temperature in the funnel upon pouring, °C	1006	1350	1076	940	1531
Water pool depth, mm	200	200	200	200	200
Water temperature, °C	79	78	75	77	72

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;">【比較のため掲載順を入替え】</p>  <p style="text-align: center;">付図4-8 PULiMS 実験E4 ケースの溶融物拡がり挙動のスナップ写真 [21]</p>  <p style="text-align: center;">付図4-9 PULiMS-E4 実験の固化デブリの性状写真 [21]</p>	 <p style="text-align: center;">Figure 40: The melt spread in PULiMS-E1 experiment (side view). The volatile particle debris have been removed while solidified core of the melt remained intact.</p> <p style="text-align: center;">図 2.1 PULiMS 試験において水中に落下させた溶融物</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

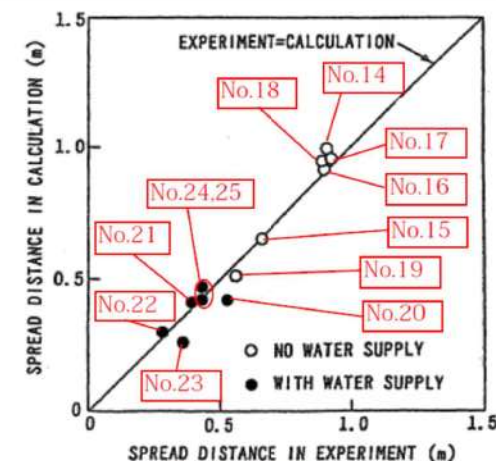
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 熔融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>上記の水中での拡がり実験に対する実験条件を表2.1に整理する。</p> <p>上記知見等により、実機における水中における熔融炉心拡がり挙動及び形状は以下のとおりと考えられる。</p> <p>① 原子炉下部キャビティでの熔融炉心の拡がり挙動について</p> <p>原子炉下部キャビティ水中での熔融炉心の拡がり挙動は、熔融炉心の過熱状態及び熔融炉心の落下質量流量に影響される。原子炉下部キャビティ水中への熔融炉心落下後、熔融炉心の温度が高い状態では、固化割合が小さいため粘度が低く、拡がる速度は速くなる。その後、原子炉下部キャビティ水との熱交換により、熔融炉心の固化割合が増加するに従って、粘度が高くなることにより流動性が低くなり、熔融炉心の拡がりは減速され、その後停止する。</p> <p>② 原子炉下部キャビティでの熔融炉心の形状について</p> <p>原子炉下部キャビティ床に堆積した熔融炉心については、原子炉下部キャビティ水に落下する過程において、細粒化した熔融炉心が固化せずに接着すること、あるいはクラストが破碎することなどにより、多孔質層のクラストを形成する。熔融炉心は多孔質層を持ち上げそれと共に移動する場合や、上部クラストの下を移動する場合がある。熔融炉心層とコンクリートの間は、全面が密着しているわけではなく、部分的に密着せずにギャップが形成されている。これにより、側方から熔融物の下面へ水が浸入することによる冷却の可能性がある。</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>付図4-3 溶融物拡がり距離の実験値と解析値の比較^[20]</p>	<p>表 2.1 実験条件の整理</p> <table border="1" data-bbox="1064 279 1948 574"> <thead> <tr> <th></th> <th>FULMIS実験 (Sweden)</th> <th>S3E実験 (Sweden)</th> <th>BNL実験 (USA)</th> <th>SPREAD実験 (Japan)</th> <th>CORINE実験 (France)</th> <th>KATS実験 (Germany)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>実験装置の特徴</td> <td>2D</td> <td>1D、2D</td> <td>1D、2D</td> <td>1D、2D</td> <td>2D (19° 円分)</td> <td>1D、2D</td> </tr> <tr> <td>溶融物材</td> <td>Bi2O3-WO3、水 B2O3-CaO、水</td> <td>ウッドメタル、水 NaNO3-KNO3、 オイル</td> <td>鉛、水</td> <td>Steel、水</td> <td>低融点合金、水</td> <td>Iron、水 Oxide、水</td> </tr> <tr> <td>溶融物体積、質量</td> <td>2.7~3 m³</td> <td>3~19 liters</td> <td>~1 liters</td> <td>1~15 liters</td> <td>~50 liters</td> <td>140~160kg</td> </tr> <tr> <td>溶融物融点</td> <td>870~1027℃</td> <td>80~120℃ 280~364℃</td> <td>不明 (鉛の融点： 327.46℃)</td> <td>1,584~1,625K</td> <td>不明</td> <td>2,450K</td> </tr> <tr> <td>溶融物の流入方法</td> <td>ジェット 直径 20mm</td> <td>底部流入口*</td> <td>底部流入口*</td> <td>底部流入口* 入口幅 0.05m</td> <td>底部流入口*</td> <td>底部流入口*</td> </tr> <tr> <td>水深</td> <td>0.2m</td> <td>4.5~7.5cm</td> <td>不明</td> <td>不明</td> <td>不明</td> <td>1cm</td> </tr> </tbody> </table> <p>*) 非ジェット形状の底部からの流入</p>		FULMIS実験 (Sweden)	S3E実験 (Sweden)	BNL実験 (USA)	SPREAD実験 (Japan)	CORINE実験 (France)	KATS実験 (Germany)	実験装置の特徴	2D	1D、2D	1D、2D	1D、2D	2D (19° 円分)	1D、2D	溶融物材	Bi2O3-WO3、水 B2O3-CaO、水	ウッドメタル、水 NaNO3-KNO3、 オイル	鉛、水	Steel、水	低融点合金、水	Iron、水 Oxide、水	溶融物体積、質量	2.7~3 m³	3~19 liters	~1 liters	1~15 liters	~50 liters	140~160kg	溶融物融点	870~1027℃	80~120℃ 280~364℃	不明 (鉛の融点： 327.46℃)	1,584~1,625K	不明	2,450K	溶融物の流入方法	ジェット 直径 20mm	底部流入口*	底部流入口*	底部流入口* 入口幅 0.05m	底部流入口*	底部流入口*	水深	0.2m	4.5~7.5cm	不明	不明	不明	1cm																																																																																																																																																																
	FULMIS実験 (Sweden)	S3E実験 (Sweden)	BNL実験 (USA)	SPREAD実験 (Japan)	CORINE実験 (France)	KATS実験 (Germany)																																																																																																																																																																																																												
実験装置の特徴	2D	1D、2D	1D、2D	1D、2D	2D (19° 円分)	1D、2D																																																																																																																																																																																																												
溶融物材	Bi2O3-WO3、水 B2O3-CaO、水	ウッドメタル、水 NaNO3-KNO3、 オイル	鉛、水	Steel、水	低融点合金、水	Iron、水 Oxide、水																																																																																																																																																																																																												
溶融物体積、質量	2.7~3 m³	3~19 liters	~1 liters	1~15 liters	~50 liters	140~160kg																																																																																																																																																																																																												
溶融物融点	870~1027℃	80~120℃ 280~364℃	不明 (鉛の融点： 327.46℃)	1,584~1,625K	不明	2,450K																																																																																																																																																																																																												
溶融物の流入方法	ジェット 直径 20mm	底部流入口*	底部流入口*	底部流入口* 入口幅 0.05m	底部流入口*	底部流入口*																																																																																																																																																																																																												
水深	0.2m	4.5~7.5cm	不明	不明	不明	1cm																																																																																																																																																																																																												
<p>付表 4-2 SPREAD 実験条件^[19]</p> <table border="1" data-bbox="224 766 963 1412"> <thead> <tr> <th>Test No.</th> <th>Melt Mass (kg)</th> <th>Super Heat (K)</th> <th>Slit Width (m)</th> <th>Floor Material</th> <th>Nozzle Diam. (mm)</th> <th>Water Depth (mm)</th> <th>Water Added Position *</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>95.0</td><td>133</td><td>0.15</td><td>Concrete</td><td>70</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>2</td><td>7.5</td><td>77</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>3</td><td>24.0</td><td>149</td><td>↑</td><td>↑</td><td>30</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>4</td><td>43.0</td><td>115</td><td>0.05</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>5</td><td>19.0</td><td>110</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>6</td><td>66.0</td><td>107</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>7</td><td>115.0</td><td>135</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>8</td><td>66.0</td><td>112</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>9</td><td>94.2</td><td>110</td><td>0.025</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>10</td><td>60.2</td><td>86</td><td>0.05</td><td>MgO</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>11</td><td>93.4</td><td>122</td><td>↑</td><td>Concrete</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>12</td><td>67.0</td><td>115</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>13</td><td>93.1</td><td>116</td><td>0.025</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>14</td><td>68.1</td><td>130</td><td>0.05</td><td>↑</td><td>70</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>15</td><td>63.6</td><td>133</td><td>↑</td><td>↑</td><td>30</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>16</td><td>116.0</td><td>131</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>17</td><td>106.2</td><td>171</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>18</td><td>108.8</td><td>158</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>19</td><td>61.9</td><td>108</td><td>0.025</td><td>↑</td><td>↑</td><td>0</td><td>-</td></tr> <tr><td>20</td><td>64.0</td><td>91</td><td>0.05</td><td>↑</td><td>↑</td><td>10</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>21</td><td>69.1</td><td>107</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>22</td><td>65.0</td><td>90</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>70</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>23</td><td>60.0</td><td>94</td><td>0.025</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C</td></tr> <tr><td>24</td><td>65.0</td><td>125</td><td>0.05</td><td>↑</td><td>↑</td><td>40</td><td>O/C, I/C</td></tr> <tr><td>25</td><td>63.8</td><td>94</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>Spray</td><td>O/C</td></tr> </tbody> </table> <p>* O/C: Outside of Cylindrical Region I/C: Inside of Cylindrical Region</p>	Test No.	Melt Mass (kg)	Super Heat (K)	Slit Width (m)	Floor Material	Nozzle Diam. (mm)	Water Depth (mm)	Water Added Position *	1	95.0	133	0.15	Concrete	70	0	-	2	7.5	77	↑	↑	↑	0	-	3	24.0	149	↑	↑	30	0	-	4	43.0	115	0.05	↑	↑	0	-	5	19.0	110	↑	↑	↑	0	-	6	66.0	107	↑	↑	↑	40	O/C	7	115.0	135	↑	↑	↑	0	-	8	66.0	112	↑	↑	↑	0	-	9	94.2	110	0.025	↑	↑	0	-	10	60.2	86	0.05	MgO	↑	0	-	11	93.4	122	↑	Concrete	↑	40	O/C	12	67.0	115	↑	↑	↑	40	O/C	13	93.1	116	0.025	↑	↑	40	O/C	14	68.1	130	0.05	↑	70	0	-	15	63.6	133	↑	↑	30	0	-	16	116.0	131	↑	↑	↑	0	-	17	106.2	171	↑	↑	↑	0	-	18	108.8	158	↑	↑	↑	0	-	19	61.9	108	0.025	↑	↑	0	-	20	64.0	91	0.05	↑	↑	10	O/C	21	69.1	107	↑	↑	↑	40	O/C	22	65.0	90	↑	↑	↑	70	O/C	23	60.0	94	0.025	↑	↑	40	O/C	24	65.0	125	0.05	↑	↑	40	O/C, I/C	25	63.8	94	↑	↑	↑	Spray	O/C		
Test No.	Melt Mass (kg)	Super Heat (K)	Slit Width (m)	Floor Material	Nozzle Diam. (mm)	Water Depth (mm)	Water Added Position *																																																																																																																																																																																																											
1	95.0	133	0.15	Concrete	70	0	-																																																																																																																																																																																																											
2	7.5	77	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
3	24.0	149	↑	↑	30	0	-																																																																																																																																																																																																											
4	43.0	115	0.05	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
5	19.0	110	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
6	66.0	107	↑	↑	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
7	115.0	135	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
8	66.0	112	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
9	94.2	110	0.025	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
10	60.2	86	0.05	MgO	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
11	93.4	122	↑	Concrete	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
12	67.0	115	↑	↑	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
13	93.1	116	0.025	↑	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
14	68.1	130	0.05	↑	70	0	-																																																																																																																																																																																																											
15	63.6	133	↑	↑	30	0	-																																																																																																																																																																																																											
16	116.0	131	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
17	106.2	171	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
18	108.8	158	↑	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
19	61.9	108	0.025	↑	↑	0	-																																																																																																																																																																																																											
20	64.0	91	0.05	↑	↑	10	O/C																																																																																																																																																																																																											
21	69.1	107	↑	↑	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
22	65.0	90	↑	↑	↑	70	O/C																																																																																																																																																																																																											
23	60.0	94	0.025	↑	↑	40	O/C																																																																																																																																																																																																											
24	65.0	125	0.05	↑	↑	40	O/C, I/C																																																																																																																																																																																																											
25	63.8	94	↑	↑	↑	Spray	O/C																																																																																																																																																																																																											

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) EPR コアキャッチャの溶融物拡がりに関わる実験^{[23][29][30][36]}</p> <p>CEA/DRN/DTPで行われたCORINE 実験^[36]では、低融点物質（グリセロール他）を模擬物質として使用して、水中での拡がり挙動を調べる実験が実施され、拡がり先端の移動速度や底部に形成されるクラストの影響が調べられた。</p> <p>独カールスルーエ研究センター（FZK）で実施されたKATS 実験^{[23][29][30]}では、溶融物としてテルミット（Al_2O_3 約150kg、Fe 約150kg）が使用され、溶融物の放出速度や温度、拡がり形状（1D, 2D）、床の材質（コンクリート、セラミック、コーティング）、水の有無をパラメータに溶融物の拡がり実験が行われている。実験装置を付図4-4及び付図4-5に示す。Al_2O_3とFeでは密度が異なり成層化するため、溶融物の出口を2箇所設け、最初にAl_2O_3が放出し、最後にFeを放出することにより酸化物溶融物の拡がりや金属溶融物の拡がりを分けて実験が可能となっている。実験条件を付表4-3に示す。</p> <p>KATS-10とKATS-11の実験条件はほぼ同様であるが、KATS-10の方は1mmの水張りをしてあり、KATS-11の方はドライ条件となっている。両者の拡がり結果を付図4-6に示すが、両ケースのように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結果となっている。</p> <div data-bbox="235 646 896 1117" data-label="Diagram"> </div> <p>付図4-4 KATS 実験装置の概要図^[29]</p>		<p>※付録3-1 2.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 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																																				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(1D) (2D)</p> <p style="text-align: center;">付図4-5 KATS 実験の1D と2D の拡がり形状の写真^[30]</p> <p style="text-align: center;">付表4-3 KATS 実験条件と拡がり距離（酸化物溶融物、1D 拡がり）^[29]</p> <table border="1" data-bbox="174 963 1003 1275"> <thead> <tr> <th>Test #</th> <th>Substratum</th> <th>Mass in channel (kg)</th> <th>Temperature Melt (°C)</th> <th>Pouring rate (l/s) / Length in Time(s)</th> <th>Spreading length (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KATS-12</td> <td>Ceramics*)</td> <td>186</td> <td>2027</td> <td>12.7 → 0 l/s in 10 s</td> <td>11.7</td> </tr> <tr> <td>KATS-14</td> <td>Ceramics*)</td> <td>176</td> <td>1967</td> <td>2 → 1.2 l/s in 37 s</td> <td>7.2</td> </tr> <tr> <td>KATS-10</td> <td>Concrete 1mm Water (Epoxy)</td> <td>179</td> <td>2037</td> <td>12.4 → 0 l/s in 10s</td> <td>>12 first front 6.5 m main front</td> </tr> <tr> <td>KATS-11</td> <td>Concrete Dry (Epoxy)</td> <td>183</td> <td>2062</td> <td>12.7 → 0 l/s in 10s</td> <td>9.5 m first Front 6.8 m main front</td> </tr> <tr> <td>KATS-13</td> <td>Concrete Dry</td> <td>185</td> <td>2052</td> <td>12.7 → 0 l/s in 10s</td> <td>7.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>*) Cordierite (Al₂O₃ 37 wt%, SiO₂ 52 wt%, MgO 6,5 wt%)</p>	Test #	Substratum	Mass in channel (kg)	Temperature Melt (°C)	Pouring rate (l/s) / Length in Time(s)	Spreading length (m)	KATS-12	Ceramics*)	186	2027	12.7 → 0 l/s in 10 s	11.7	KATS-14	Ceramics*)	176	1967	2 → 1.2 l/s in 37 s	7.2	KATS-10	Concrete 1mm Water (Epoxy)	179	2037	12.4 → 0 l/s in 10s	>12 first front 6.5 m main front	KATS-11	Concrete Dry (Epoxy)	183	2062	12.7 → 0 l/s in 10s	9.5 m first Front 6.8 m main front	KATS-13	Concrete Dry	185	2052	12.7 → 0 l/s in 10s	7.5		
Test #	Substratum	Mass in channel (kg)	Temperature Melt (°C)	Pouring rate (l/s) / Length in Time(s)	Spreading length (m)																																	
KATS-12	Ceramics*)	186	2027	12.7 → 0 l/s in 10 s	11.7																																	
KATS-14	Ceramics*)	176	1967	2 → 1.2 l/s in 37 s	7.2																																	
KATS-10	Concrete 1mm Water (Epoxy)	179	2037	12.4 → 0 l/s in 10s	>12 first front 6.5 m main front																																	
KATS-11	Concrete Dry (Epoxy)	183	2062	12.7 → 0 l/s in 10s	9.5 m first Front 6.8 m main front																																	
KATS-13	Concrete Dry	185	2052	12.7 → 0 l/s in 10s	7.5																																	

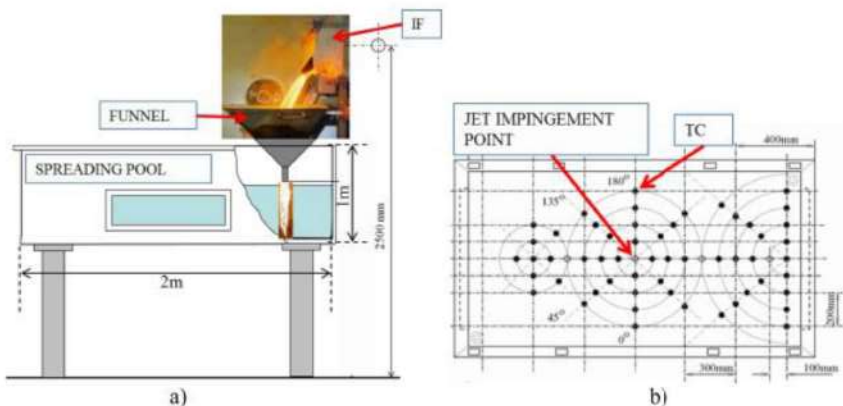
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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="188 204 987 539" data-label="Figure"> <p>The figure consists of two vertically stacked line graphs. The top graph is for KATS-10, labeled 'concrete, epoxy-coated' and '1mm of water'. The y-axis is 'Melt height [mm]' with values 25, 50, 75, 100. The x-axis is 'Channel length [m]' with values 0, 10, 20, 30, 40, 50. The melt height starts at approximately 75 mm, remains relatively stable until about 25 m, then drops sharply to about 25 mm at 30 m, and then rises back to about 75 mm by 40 m. The bottom graph is for KATS-11, labeled 'concrete, epoxy-coated' and 'dry'. It has the same axes. The melt height starts at approximately 75 mm, remains stable until about 25 m, then drops sharply to about 25 mm at 30 m, and then rises back to about 75 mm by 40 m. The two graphs show very similar trends.</p> </div> <div data-bbox="286 544 907 571" data-label="Caption"> <p>付図4-6 KATS 実験の水の有無の影響（酸化物溶融物、1D 拡がり）^[29]</p> </div> <div data-bbox="138 646 1055 1082" data-label="Text"> <p>(3) KTHの溶融物拡がり研究^{[21][27]} スウェーデンKTHでは、溶融物拡がりの小規模実験として、S3E 実験^[27]が行われている。種々の溶融物と冷却材の組合せ（例 ウッズメタル-水、塩（$\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$）-パラフィン）で溶融物温度、溶融物流量等をパラメータに、溶融物の拡がり挙動に関するデータが取られている。溶融物が冷却される過程において、低密度の多孔質の層が形成される結果が得られており、溶融物の流れにより、この多孔質層が持ち上げられ、流量（慣性力）によって決定される距離まで拡がる挙動を示した。 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 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ 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> </div>		<p>※付録 3-1 2. 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

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																														
 <p>a) b)</p>																																																																																
付図4-7 PULiMS 実験装置の概要図 ^[21]																																																																																
付表4-4 PULiMS 実験条件 [21]																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th colspan="5">PULiMS tests</th> </tr> <tr> <th></th> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>E3</th> <th>E4</th> <th>E5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Melt material</td> <td>Bi₂O₃-WO₃</td> <td>B₂O₃-CaO</td> <td>Bi₂O₃-WO₃</td> <td>Bi₂O₃-WO₃</td> <td>ZrO₂-WO₃</td> </tr> <tr> <td>Melt mass composition, %</td> <td>42.64-57.36 eutectic</td> <td>30-70 non-eutectic</td> <td>42.64-57.36 eutectic</td> <td>42.64-57.36 eutectic</td> <td>15.74-84.26 eutectic</td> </tr> <tr> <td>Melt jet diameter, mm</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Jet free fall height, mm</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Initial melt volume, L</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Initial melt mass, kg</td> <td>23.4</td> <td>7.5</td> <td>78.1</td> <td>46.9</td> <td>41.2</td> </tr> <tr> <td>T_{sub}, °C</td> <td>870</td> <td>1027</td> <td>870</td> <td>870</td> <td>1231</td> </tr> <tr> <td>T_{top}, °C</td> <td>870</td> <td>1027</td> <td>870</td> <td>870</td> <td>1231</td> </tr> <tr> <td>Melt temperature in the funnel upon pouring, °C</td> <td>1006</td> <td>1350</td> <td>1076</td> <td>940</td> <td>1531</td> </tr> <tr> <td>Water pool depth, mm</td> <td>200</td> <td>200</td> <td>200</td> <td>200</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Water temperature, °C</td> <td>79</td> <td>78</td> <td>75</td> <td>77</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>	Parameter	PULiMS tests						E1	E2	E3	E4	E5	Melt material	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	B ₂ O ₃ -CaO	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	ZrO ₂ -WO ₃	Melt mass composition, %	42.64-57.36 eutectic	30-70 non-eutectic	42.64-57.36 eutectic	42.64-57.36 eutectic	15.74-84.26 eutectic	Melt jet diameter, mm	20	20	20	20	20	Jet free fall height, mm	400	400	400	400	400	Initial melt volume, L	3	3	10	6	6	Initial melt mass, kg	23.4	7.5	78.1	46.9	41.2	T _{sub} , °C	870	1027	870	870	1231	T _{top} , °C	870	1027	870	870	1231	Melt temperature in the funnel upon pouring, °C	1006	1350	1076	940	1531	Water pool depth, mm	200	200	200	200	200	Water temperature, °C	79	78	75	77	72		
Parameter	PULiMS tests																																																																															
	E1	E2	E3	E4	E5																																																																											
Melt material	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	B ₂ O ₃ -CaO	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	Bi ₂ O ₃ -WO ₃	ZrO ₂ -WO ₃																																																																											
Melt mass composition, %	42.64-57.36 eutectic	30-70 non-eutectic	42.64-57.36 eutectic	42.64-57.36 eutectic	15.74-84.26 eutectic																																																																											
Melt jet diameter, mm	20	20	20	20	20																																																																											
Jet free fall height, mm	400	400	400	400	400																																																																											
Initial melt volume, L	3	3	10	6	6																																																																											
Initial melt mass, kg	23.4	7.5	78.1	46.9	41.2																																																																											
T _{sub} , °C	870	1027	870	870	1231																																																																											
T _{top} , °C	870	1027	870	870	1231																																																																											
Melt temperature in the funnel upon pouring, °C	1006	1350	1076	940	1531																																																																											
Water pool depth, mm	200	200	200	200	200																																																																											
Water temperature, °C	79	78	75	77	72																																																																											

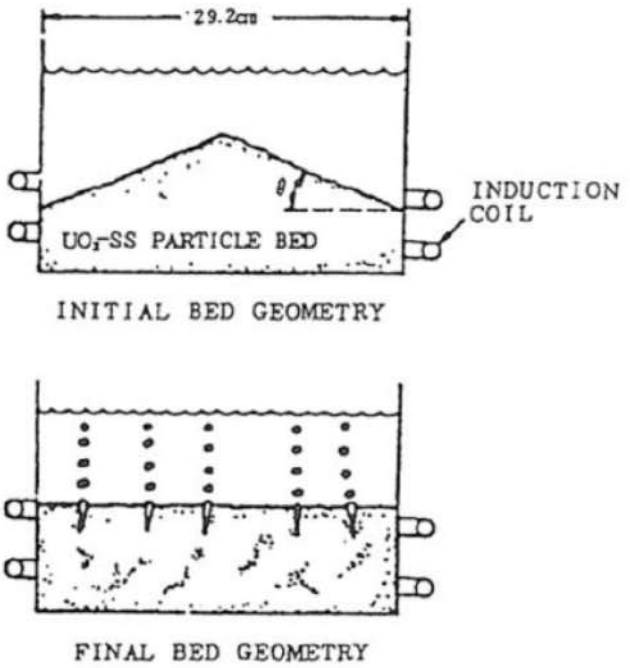
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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="273 545 918 571">付図4-8 PULiMS 実験E4 ケースの溶融物拡がり挙動のスナップ写真 [21]</p>  <p data-bbox="360 1262 831 1287">付図4-9 PULiMS-E4 実験の固化デブリの性状写真 [21]</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) 粒子状ベッドの拡がり^[22]</p> <p>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>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>※3.1 (9) に記載</p>

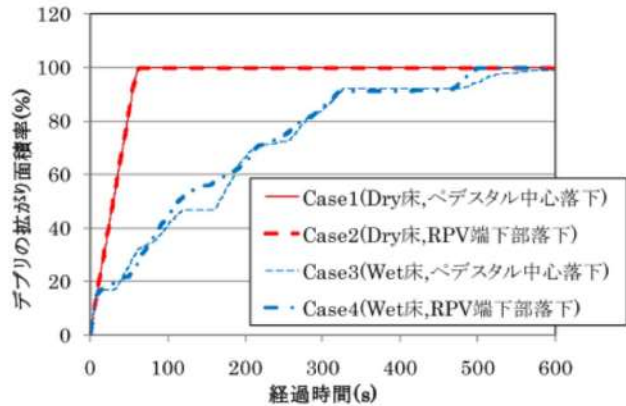
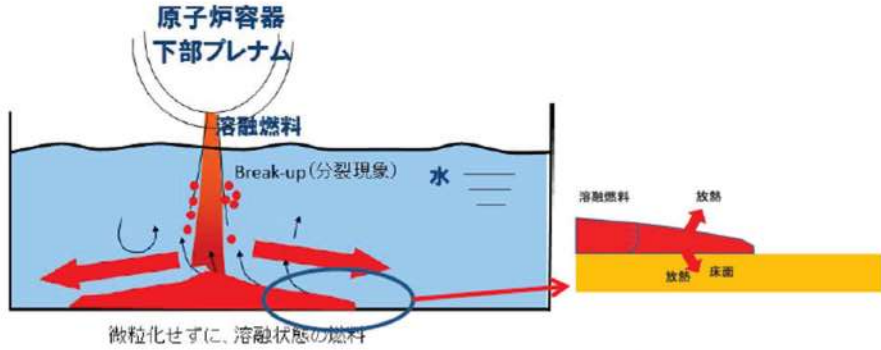
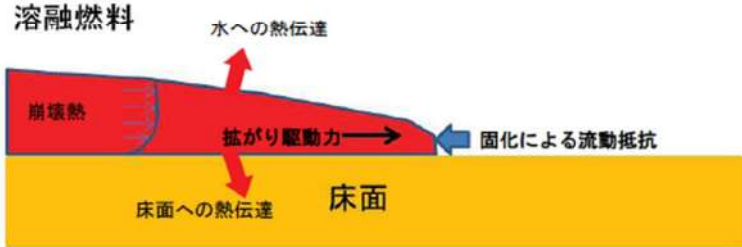
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）
 下線：従来のPWRの公開文献から追加した内容

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																														
<p>(5) 溶融物の拡がり解析^{[20][27][28][39][40]}</p> <p>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いる。主要なものを付表4-5に示す。これらの解析コードは、実験データを元に検証が行われている。また、実験と実機条件とを関連づけるスケーリング則の提案も行われている。^{[20][27][28]}</p> <p style="text-align: center;">付表4-5 溶融物拡がり挙動の主な解析コード^[27]</p> <table border="1" data-bbox="154 416 1039 730"> <thead> <tr> <th>Code</th> <th>Country</th> <th>Model characteristics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CORFLOW *</td> <td>Germany</td> <td>2D - mechanistic</td> </tr> <tr> <td>CROCO</td> <td>France</td> <td>Simplified (ISPN)</td> </tr> <tr> <td>LAVA *</td> <td>Japan</td> <td>2D - Bingham fluid</td> </tr> <tr> <td>MELTSREAD *</td> <td>USA</td> <td>1D - complex physics and chemistry</td> </tr> <tr> <td>MECO</td> <td>Germany</td> <td>Mechanistic (Ruhr Univ.)</td> </tr> <tr> <td>RASPLAV / SPREAD</td> <td>Russia</td> <td>2D - hydrodynamic</td> </tr> <tr> <td>SPREAD</td> <td>Japan</td> <td>simplified</td> </tr> <tr> <td>THEMA *</td> <td>France</td> <td>phenomenological (CEA/DRN)</td> </tr> <tr> <td>Footnote</td> <td colspan="2">* Code receiving International recognition</td> </tr> </tbody> </table> <p>a) 三次元溶融物拡がり解析例</p> <p>溶融物の拡がり挙動を三次元で評価した例もある。付図4-11に示すとおり過酷事故解析コードSAMPSONのデブリ拡がりモジュール(DSA)^[39]を使用して、ABWRの格納容器ペDESTAL上におけるデブリ拡がり評価を実施している^[40]。床面に200mmの水位がある条件(Wet床条件)で、制御棒駆動機構ハウジング1本の破損を想定して、全炉心相当の溶融炉心がペDESTAL(半径約5.3m)へ落下する場合の溶融炉心の床上の拡がり面積を評価している。床面に水が存在する場合でも、溶融炉心は落下位置に依らずペDESTALのほぼ全面に拡がり、最終的な堆積高さは400~500mm程度となる結果を得ている。</p>	Code	Country	Model characteristics	CORFLOW *	Germany	2D - mechanistic	CROCO	France	Simplified (ISPN)	LAVA *	Japan	2D - Bingham fluid	MELTSREAD *	USA	1D - complex physics and chemistry	MECO	Germany	Mechanistic (Ruhr Univ.)	RASPLAV / SPREAD	Russia	2D - hydrodynamic	SPREAD	Japan	simplified	THEMA *	France	phenomenological (CEA/DRN)	Footnote	* Code receiving International recognition		<p>3. 水中での拡がり挙動の概要及び相関式</p> <p>(1) 水中での溶融炉心拡がり挙動の概要</p> <p>下部プレナムから流出した溶融炉心は、水中に落下する過程において一部が細粒化し、大部分は液体の状態で原子炉下部キャビティ床に堆積する。原子炉下部キャビティ床に堆積した溶融炉心は、重力の影響で拡がるが、原子炉下部キャビティ水及び床面で除熱されることで固化が進み、やがて拡がり停止する。</p> <p>PULiMS 実験により得られた知見より、原子炉下部キャビティ内での最終的な溶融炉心の拡がりの大きさは、以下のパラメータにより決定されると考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・拡がり駆動力 溶融炉心と水との密度差により、溶融炉心には水中を拡がる駆動力が生じる。 ・拡がり抑制力 床面上に形成されたクラストによる減速効果が働くこと、及び溶融炉心の固化が進むことにより、溶融炉心の粘度が増加し、溶融炉心の拡がりを抑制する力が生じる。 <p>上記のとおり、溶融炉心の拡がりの大きさは、溶融炉心と水の密度差による拡がりの駆動力の時間スケールと、溶融炉心の固化の時間スケールとの競合によって決まり、固化が早ければ拡がりが抑制され、あまり拡がらずに固化してしまい、固化が遅くなれば、拡がりは大きくなる傾向となる。図3.1及び図3.2に以上の挙動の模式図を示す。</p>	<p>※BWR固有の解析</p>
Code	Country	Model characteristics																														
CORFLOW *	Germany	2D - mechanistic																														
CROCO	France	Simplified (ISPN)																														
LAVA *	Japan	2D - Bingham fluid																														
MELTSREAD *	USA	1D - complex physics and chemistry																														
MECO	Germany	Mechanistic (Ruhr Univ.)																														
RASPLAV / SPREAD	Russia	2D - hydrodynamic																														
SPREAD	Japan	simplified																														
THEMA *	France	phenomenological (CEA/DRN)																														
Footnote	* Code receiving International recognition																															

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>付図 4-11 ABWRを対象にした三次元溶融炉心拡がり評価結果例（SAMPSONコード）^[40]</p>	 <p>図 3.1 溶融炉心の落下から拡がりに至る挙動</p>  <p>図 3.2 溶融炉心の拡がりに係る熱伝達及び流体力学的挙動</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>b) スケーリング則を用いた溶融物拡がり相関式</p> <p>(3) に示した PULiMS 実験の結果を元に、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^[28]。これは、障害物のない水平な床面に落下した溶融物の拡がり停止後の平均厚さや拡がり距離を求める相関式である。一般的に、溶融物の拡がり挙動は、溶融物の堆積高さに対応した重力による拡がり、溶融物冷却に伴う粘性増加による流動性低下の競合する二つのプロセスにより支配される。（付図4-12参照）</p> <p>スケーリング則では、競合する二つのプロセスの時間スケールとして、流体力学的拡がり時間 τ_{conv} を、拡がり停止後の平均厚さ δ_v に達するまでの時間と定義し、固化時間 τ_{solid} を、溶融物が冷却され固化するまでの時間と定義し、これらの時間の比を、拡がりの無次元時間スケール $T (= \tau_{conv} / \tau_{solid})$ と定義している。また、拡がり停止後の平均厚さ δ_v と表面張力とのバランスで決まる厚さ δ_{cap} の比を、無次元長さスケール $L (= \delta_v / \delta_{cap})$ と定義している。</p> <p>障害物のない水平な床を想定し、落下した溶融物が軸対称に拡がると仮定すると、無次元長さスケール L は、無次元時間スケール T を用いて(1)式で表されるとしている。</p> <p>添え字の i は 慣性力支配流れの値を示し、v は粘性力支配流れの値を示している。</p> $Lv = Cv \cdot T^{1/2} \cdot N^{1/2} \quad (1)$ <p>また、拡がり距離 $r(t)$ と拡がり時間 t の関係は、以下のように表されるとしている。</p> <p>慣性力支配流れの場合 $r_i(t) = \beta_i \cdot t^{3/4} \quad (2)$</p> <p>粘性力支配流れの場合 $r_v(t) = \beta_v \cdot t^{1/2} \quad (3)$</p>	<p>(2) 水中での溶融炉心拡がり長さ時間相関式^{[7][8][9]}</p> <p>文献^[7]では、溶融炉心の水中での拡がり挙動を以下のとおり定式化している。</p> <p>液相として床に堆積した溶融炉心が拡がる際の最終的な厚さ δ_{sp} は溶融炉心拡がり無次元時間 T から(1)の相関式で表される。</p> $\frac{\delta_{sp}}{\delta_{cap}} = CT^{0.5} N^{0.5} \quad (1)$ <p>δ_{sp}：溶融炉心の最終厚さ δ_{cap}：表面張力による最小厚さ $(= 2\sqrt{\sigma/\rho_m g})$</p> <p>$C$：比例定数 T：溶融炉心拡がり無次元時間 $(= \tau_{conv}/\tau_{solid})$</p> <p>$N$：重力-慣性力支配流れの時1、重力-粘性力支配流れの場合 $= \left(\frac{V_{tot}}{\pi\delta_{cap}}\right)^{1/3} \frac{\beta_i^{4/3}}{\beta_v^2}$</p> <p>$\tau_{conv}$：溶融炉心拡がり特性時間 $(s) = \left(\frac{r_{sp}}{\beta_v}\right)$</p> <p>$\tau_{solid}$：溶融炉心固化特性時間 $(s) = \delta_{cap} \rho_m \frac{C_{p,m} \Delta T_{sup} + \eta H_f}{q_{up} + q_{dn} - q_v \delta_{cap}}$</p> <p>(1) 式より、溶融炉心の拡がる際の最終的な厚さが算出され、この値と溶融炉心の落下量から、溶融炉心の拡がり長さ（拡がりの直径）が算出できる。</p> <p>また、拡がり長さ $r_v(t)$ と拡がり時間 t の関係は(2)式より表されるため、拡がり時間は(2)式で算出することができる。</p> $r_v(t) = \beta_v t^{0.5} \quad (2)$ <p>$\beta_{i,v}$：デブリ広がり係数 $\beta_v = \left(\frac{gG^3}{v}\right)^{0.125} \beta_i = 0.84(gG)^{0.25}$</p> <p>$r_{sp}$：幾何的に可能な最大拡がり径(m) ΔT_{sup}：溶融炉心過熱度(K) $C_{p,m}$：溶融炉心比熱(J/kg/K) q_{up}：溶融炉心上面の熱流束（放射及び対流熱伝達）(W/m²) q_{dn}：溶融炉心下面の熱流束（対流熱伝達）(W/m²) q_v：単位体積当たりの崩壊熱(W/m³) H_f：溶融炉心の溶融潜熱(J/kg)</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>ここで、</p> <p>δ_{cap}：表面張力とバランスする厚さ（$= 2\sqrt{\sigma/\rho_m g'}$）</p> <p>$C_f$：比例定数。PULiMS 実験より、$C_f=1.30$ が得られている。</p> <p>N：粘性因子（$= \frac{\tau_{conv,v}}{\tau_{conv,l}} \cdot \frac{\delta_{cap}}{\delta_{cap}}$）</p> <p>$\beta$：拡がり係数 $\beta_i = 0.84(g' G)^{1/4}$, $\beta_v = 0.67\left(\frac{g' G^2}{v}\right)^{1/8}$</p> <p>$\tau_{solid}$：デブリ固化特性時間(s) $(= \delta_{cap} \cdot \rho_m \cdot \frac{C_{p,m} \Delta T_{sup} + \eta H_f}{q''_{up} + q''_{dn} - q_w - \delta_{cap}})$</p> <p>$\Delta T_{sup}$：デブリ過熱度(K) , $C_{p,m}$：デブリ比熱(J/kg/K)</p> <p>q''_{up}：デブリ上面の熱流束（放射及び対流熱伝達）(W/m²)</p> <p>q''_{dn}：デブリ下面の熱流束（対流熱伝達）(W/m²)</p> <p>q_w：単位体積当たりの崩壊熱(W/m³)</p> <p>H_f：デブリの熔融潜熱(J/kg) , η：流動停止までの有効潜熱割合(-)</p> <p>σ：デブリ表面張力(N/m) , ρ_m：デブリ密度(kg/m³) , ρ_w：水の密度(kg/m³)</p> <p>g：重力加速度(m/s²) , v：デブリの動粘性係数(m²/s)</p> <p>g'：水中における重力加速度の補正（$= g(\rho_m - \rho_w)/\rho_m$）(m/s²)</p> <p>$V_{tot}$：デブリ体積(m³) $(= \frac{m(1-f_m)}{\rho_m})$, m：デブリ質量(kg)</p> <p>G：エントレインされなかった連続体デブリの体積流量(m³/s) $(= \frac{V_{tot}}{t_{rel}})$</p> <p>$t_{rel}$：原子炉圧力容器からの熔融炉心放出時間(s)</p> <p>f_m：デブリ落下時のエントレイン割合(-)</p> <p>ρ'_m：有効デブリ密度(kg/m³) $(= \rho_m(1 - \epsilon_m))$, ϵ_m：デブリポイド分率(-)</p> <p>(1)式は、拡がり停止時のデブリ平均厚さが、無次元時間スケール（＝熔融物の拡がり時間／固化時間）の平方根に比例することを意味しており、熔融物の拡がりが遅いほど、固化するまでの時間が短いほど、無次元時間は大きくなり、結果として、拡がり停止時の平均厚さが大きく、拡がり面積は小さくなる傾向を示している。逆に、熔融物の拡がり早いほど、固化までの時間が長いほど、無次元時間は小さくなり、平均厚さが薄くなり、拡がり距離は大きくなる。このスケールリング則について、PULiMS 実験との比較が行われており、付図 4-13 に、実験結果とスケールリング則による評価との比較を示すが、概ね一致している結果が得られている。</p> <p>上記のスケールリング則の式より、$\tau_{conv,v}$及びNは次式のように得られる。</p>	<p>η：有効潜熱割合(-)</p> <p>σ：熔融炉心表面張力(N/m)</p> <p>ρ_m：熔融炉心密度(kg/m³)</p> <p>ρ_w：水の密度(kg/m³)</p> <p>g：水中における重力加速度の補正（$= g(\rho_m - \rho_w)/\rho_m$）(m/s²)</p> <p>$g$：重力加速度(m/s²)</p> <p>$v$：熔融炉心の動粘性係数(m²/s)</p> <p>V_{tot}：熔融炉心体積(m³) $= \frac{m(1-f_m)}{\rho_m}$</p> <p>$m$：熔融炉心質量(kg)</p> <p>$G$：エントレインされなかった連続体熔融炉心の体積流量(m³/s) $= \frac{V_{tot}}{t_{rel}}$</p> <p>$t_{rel}$：原子炉容器からのデブリ放出時間(s)</p> <p>f_m：熔融炉心落下時のエントレイン割合(-)</p> <p>ρ'_m：有効熔融炉心密度(kg/m³) $= \rho_m(1 - \epsilon_m)$</p> <p>ϵ_m：熔融炉心ポイド率(-)</p> <p>この相関式は、最終的な熔融燃料の拡がり時の厚さδ_{sp}が、無次元時間（熔融炉心の拡がり時間÷熔融炉心が固化するまでの時間）の平方根に比例することを意味している。熔融炉心の拡がり遅い、又は固化するまでの時間が短い場合には、無次元時間Tは大きくなり、結果として、拡がり時の最終的な厚さδ_{sp}が大きくなり、結果として拡がり面積は小さくなる。逆に、熔融炉心の拡がり早い、又は固化までの時間が長い場合には、無次元時間Tは小さくなり、熔融炉心の厚さが薄くなるため、拡散が進む方向となる。</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

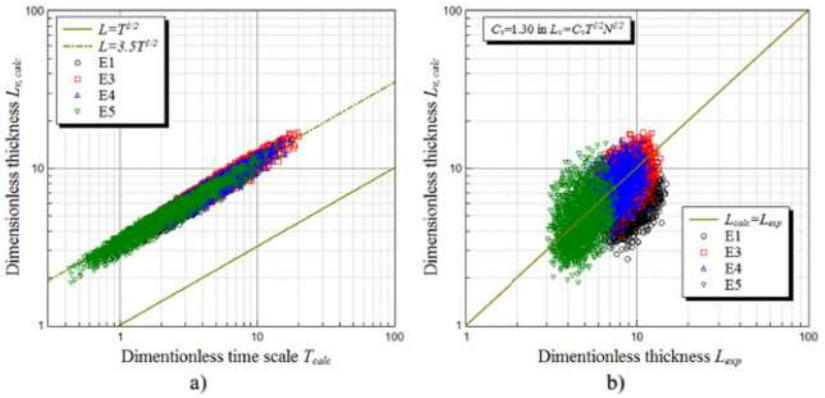
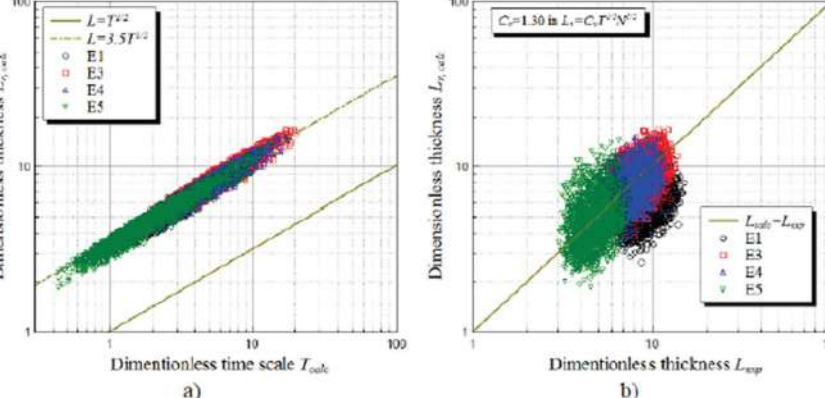
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（添付3 溶融炉心とコンクリートの相互作用について）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="241 204 878 279" data-label="Equation-Block"> $\tau_{conv,v} = \left(\frac{V_{tot} \tau_{solid}^{1/2}}{\pi \beta_v^2 \delta_{cap} C_p N^{1/2}} \right)^{2/3} \quad (4)$ </div> <div data-bbox="241 311 878 370" data-label="Equation-Block"> $N = \left(\frac{V_{tot}}{\pi \delta_{cap}} \right)^{1/3} \frac{\beta_v^{4/3}}{\beta_v^2} \quad (5)$ </div> <div data-bbox="161 383 862 411" data-label="Text"> <p>(4)式及び(5)式により$\tau_{conv,v}$が求まり、次式で拡がり距離が得られる。</p> </div> <div data-bbox="257 422 878 454" data-label="Equation-Block"> $r_v(\tau_{conv,v}) = \beta_v \cdot \tau_{conv,v}^{1/2} \quad (6)$ </div> <div data-bbox="161 545 1046 774" data-label="Text"> <p>BWRの溶融物条件（付表4-6参照）を用いて、上記のPULiMS スケーリング則を適用し、(6)式により溶融物の拡がり半径を評価した。付図4-14に評価結果を示す。制御棒駆動機構ハウジング破損時の溶融物落下質量速度である約8500kg/sの場合、約18mの拡がり半径を得る。溶融物質量を減らして落下質量速度を減らすと、拡がり距離は減少するが、BWR条件の落下質量速度の1/10にしても、まだ、ペDESTAL半径（Mark-I改の場合約3.2m）を超えた拡がり半径を得る。したがって、PULiMS スケーリング則を適用しても、BWRの溶融物条件では、溶融物はペDESTAL床全面に拡がる結果となる。</p> </div> <div data-bbox="224 826 967 1209" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="246 1225 940 1252" data-label="Caption"> <p>付図4-12 溶融炉心の拡がりに関わる熱伝達及び流体力学的な力を示す模式図</p> </div>	<div data-bbox="1075 172 1960 263" data-label="Text"> <p>さらに、上記の拡がりモデルについては、PULiMS 試験との比較により、その妥当性が示されており、図3.3に示すとおり、実験で得られたデータと評価モデルとの比較が実施され、概ね一致している。</p> </div> <div data-bbox="1075 271 1960 331" data-label="Text"> <p>実機評価においては、各入力パラメータに対する実機での条件を適切に与えることにより、拡がり挙動について解析を実施する。</p> </div>	<div data-bbox="1971 545 2116 571" data-label="Text"> <p>※BWR固有の解析</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 data-bbox="219 646 974 678">付図4-13 PULiMS 実験を対象にしたスケーリング則による評価と実験結果の比較^[28]</p>	 <p data-bbox="1270 646 1720 678">図3.3 拡がりモデルとPULiMS 試験結果との比較</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
<div data-bbox="185 180 584 264" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 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> <div data-bbox="360 339 815 368" style="text-align: center;"> 付表4-6 BWR溶融物条件（BWR5 Mark-I改） </div> <div data-bbox="244 379 954 743" style="border: 2px solid black; height: 228px; margin: 10px 0;"> <!-- Intentionally blank box representing redacted content --> </div> <div data-bbox="226 791 983 1292" style="text-align: center;"> <p>拡がり距離</p> <p>溶融物落下質量速度(kg/s)</p> <p>拡がり距離(m)</p> <p>BWR条件</p> <p>ベテスタル半径(Mark-I改)</p> </div> <div data-bbox="219 1326 956 1355" style="margin-top: 10px;"> 付図4-14 溶融物落下質量速度と拡がり距離の関係（PULiMS スケーリング則適用） </div>		<p>※BWR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. 実機評価</p> <p>これまでの実験の知見から、デブリジェットが原子炉下部キャビティ床に到達するまでの落下過程において冷却されず高温のまま床に到達する場合には、熔融炉心の拡がり大きくなり、反対に、熔融炉心が落下時に細粒化などにより冷却が進む場合には、熔融炉心の拡がりは小さくなると考えられる。図4.1及び図4.2にそれぞれの場合の模式図を示す。感度解析では、これらのケースに対する熔融炉心の拡がり面積を算出し、MAAPコードの解析の入力条件とする。</p> <div data-bbox="1205 427 1814 662" data-label="Image"> </div> <p>図4.1 落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース （熔融炉心からの除熱が進まず、固化割合が小さいため拡がりが大きくなる。）</p> <div data-bbox="1124 833 1870 1077" data-label="Image"> </div> <p>図4.2 落下時に細粒化などにより冷却が進むケース （熔融炉心からの除熱が進み、固化割合が大きくなるため拡がりが抑制される。）</p> <p>表4.1に1回目の原子炉容器破損時の熔融炉心落下条件について示す。また、表4.2に落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケースと落下時に細粒化などにより冷却が進むケースの細粒化割合と過熱度の熱損失をまとめたものである。</p> <p>前者のケースでは、デブリジェットが原子炉下部キャビティ床に到達するまでの落下過程において、熔融炉心の冷却が進まないような条件として、細粒化無しとし、また、落下過程における熔融炉心-原子炉下部キャビティ水間の熱伝達による熔融炉心の熱損失も無しとしている。</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>一方、後者のケースでは、デブリジェットが原子炉下部キャビティ床に到達するまでの落下過程において、熔融炉心の冷却が進むような条件として、細粒化割合はSaitoの相関式を用い、また、熔融炉心の熱損失については、熔融炉心の過熱度分がすべて水と熱交換するとしている。</p> <p>評価結果を表4.3に示す。拡がり直径については、前者のケースで約7.7m、後者のケースで約1.5mとなった。</p> <p style="text-align: center;">表4.1 熔融炉心放出時のパラメータ</p> <table border="1" data-bbox="1256 451 1693 863"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>メルト質量 [kg]</td><td>48,600</td></tr> <tr><td>放出時間 [s]</td><td>100</td></tr> <tr><td>メルト温度 [K]</td><td>2,554.05</td></tr> <tr><td>冷却水温度 [K]</td><td>408.05</td></tr> <tr><td>メルト密度 [kg/m³]</td><td>8,463.1</td></tr> <tr><td>冷却水密度 [kg/m³]</td><td>931</td></tr> <tr><td>ジェット径 [m]</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>ジェット粘性係数 [Pa*s]</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>ジェット表面張力 [N/m]</td><td>1</td></tr> <tr><td>メルト比熱 [J/kg/K]</td><td>484.6</td></tr> <tr><td>冷却水比熱 [J/kg/K]</td><td>4,280</td></tr> <tr><td>単位質量当たりの崩壊熱 [W/kg]</td><td>264.2</td></tr> <tr><td>固化温度 (T_{sol}) [K]</td><td>2,308.25</td></tr> <tr><td>液化温度 (T_{liq}) [K]</td><td>2,308.25</td></tr> <tr><td>メルト融解熱 [J/kg]</td><td>326.415</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表4.2 各ケースに対する主な入力パラメータ</p> <table border="1" data-bbox="1115 970 1939 1137"> <thead> <tr> <th></th> <th>落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース</th> <th>落下時に細粒化などにより冷却が進むケース</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>メルト細粒化割合 [-]</td> <td>0.0</td> <td>0.66</td> </tr> <tr> <td>ジェット冷却による過熱度の熱損失 [K]</td> <td>0</td> <td>245.8</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表4.3 熔融炉心の拡がり評価結果</p> <table border="1" data-bbox="1115 1241 1928 1409"> <thead> <tr> <th></th> <th>落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース</th> <th>落下時に細粒化などにより冷却が進むケース</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>拡がり直径 [m]</td> <td>約7.7</td> <td>約1.5</td> </tr> <tr> <td>拡がり面積 [m²]</td> <td>約47</td> <td>約1.8</td> </tr> </tbody> </table>	項目	値	メルト質量 [kg]	48,600	放出時間 [s]	100	メルト温度 [K]	2,554.05	冷却水温度 [K]	408.05	メルト密度 [kg/m ³]	8,463.1	冷却水密度 [kg/m ³]	931	ジェット径 [m]	0.4	ジェット粘性係数 [Pa*s]	10.5	ジェット表面張力 [N/m]	1	メルト比熱 [J/kg/K]	484.6	冷却水比熱 [J/kg/K]	4,280	単位質量当たりの崩壊熱 [W/kg]	264.2	固化温度 (T _{sol}) [K]	2,308.25	液化温度 (T _{liq}) [K]	2,308.25	メルト融解熱 [J/kg]	326.415		落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース	落下時に細粒化などにより冷却が進むケース	メルト細粒化割合 [-]	0.0	0.66	ジェット冷却による過熱度の熱損失 [K]	0	245.8		落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース	落下時に細粒化などにより冷却が進むケース	拡がり直径 [m]	約7.7	約1.5	拡がり面積 [m ²]	約47	約1.8	
項目	値																																																			
メルト質量 [kg]	48,600																																																			
放出時間 [s]	100																																																			
メルト温度 [K]	2,554.05																																																			
冷却水温度 [K]	408.05																																																			
メルト密度 [kg/m ³]	8,463.1																																																			
冷却水密度 [kg/m ³]	931																																																			
ジェット径 [m]	0.4																																																			
ジェット粘性係数 [Pa*s]	10.5																																																			
ジェット表面張力 [N/m]	1																																																			
メルト比熱 [J/kg/K]	484.6																																																			
冷却水比熱 [J/kg/K]	4,280																																																			
単位質量当たりの崩壊熱 [W/kg]	264.2																																																			
固化温度 (T _{sol}) [K]	2,308.25																																																			
液化温度 (T _{liq}) [K]	2,308.25																																																			
メルト融解熱 [J/kg]	326.415																																																			
	落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース	落下時に細粒化などにより冷却が進むケース																																																		
メルト細粒化割合 [-]	0.0	0.66																																																		
ジェット冷却による過熱度の熱損失 [K]	0	245.8																																																		
	落下時に冷却されず高温のまま床に到達するケース	落下時に細粒化などにより冷却が進むケース																																																		
拡がり直径 [m]	約7.7	約1.5																																																		
拡がり面積 [m ²]	約47	約1.8																																																		

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>5.参考文献</p> <p>[1] Pavel Kudinov, et al., " Experimental Results on Pouring and Underwater Liquid Melt Spreading and Energetic Melt-Coolant Interaction," The 9th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-9), Kaohsiung, Taiwan, September 9-13, 2012.</p> <p>[2] Sehgal, B.R., Dinh, T.N., Green, J.A., Konovalikhin, M.J., Paladino, D., Leung, W.H., Gubaidulin, A.A., " Experimental Investigation of Melt Spreading in One-Dimensional Channel" , RIT/NPS Research Report for European Union EU-CSC-1D1-97, 86p., 1997.</p> <p>[3] Greene, G.A., Finrock, C., Klages, J., and Schwarz, C.E., " Experimental Studies on Melt Spreading, Bubbling Heat Transfer and Coolant Layer Boiling," Proceedings of 16th Water Reactor Safety Meeting, NUREG/CP-0096, pp. 341-358, (1988).</p> <p>[4] Suzuki, H., et al., " Fundamental Experiment and Analysis for Melt Spreading on Concrete Floor," Proceedings of 2nd ASME/JSME Nuclear Engineering Conference, Vol. 1, pp. 403-407, (1993).</p> <p>[5] Fieg, G., et al., " Simulation Experiments on the Spreading Behavior of Molten Core Debris" , Proceedings of the 1996 National Heat Transfer Conference, in the session " Fundamental Phenomena in Severe Accidents" , Houston, Texas, August 3-6, 1996, HTC-Vol.9, pp.121-129.</p> <p>[6] Alsmeyer H., et al., " Overview on the Results of the RCA Project on Molten Core - Concrete Interactions" , FISA-95 Proceedings, Luxemburg, EUR 16896 EN, pp.231-255 (1996).</p> <p>[7] Konovalenko A. and Kudinov P., "Development of Scaling Approach for Prediction of Terminal Spread Thickness of Melt Poured into a Pool of Water," Proceedings of The 9th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-9), Kaohsiung, Taiwan, September 9-13, N9P0302, 2012.</p> <p>[8] Dinh, T.N. Konovalikhin, M. J., Sehgal, B. R., " Core melt spreading on a reactor containment floor" , Progress in Nuclear Energy, 36(4), pp.405-468, (2000).</p> <p>[9] Maxim J.K., Investigations on Melt Spreading and Coolability in a LWR Severe Accident, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology Stockholm, 2001.</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;">付録5</p> <p style="text-align: center;">粒子状ベッドの冷却性実験と解析モデル</p> <p>粒子状ベッドの冷却性については、高速増殖炉の炉心損傷事故の評価において重要な評価となることから、従来から多くの実験的及び解析的研究が行われてきている^[32]。また、TMI-2事故以降は、軽水炉を対象とした研究も進められている。</p> <p>デブリベッド冷却に関する研究の主要な焦点の一つは、デブリベッドの冷却限界が、崩壊熱を上回るかどうかであり、判断基準のパラメータはデブリベッドのドライアウト熱流束と考えられている。発熱する粒子状ベッドの内を流下する冷却水と上昇する蒸気の対向二相流がデブリベッド内で形成される。粒子状デブリベッドの流動状態の模式図を付図5-1に示す。崩壊熱が高いと、局所的にデブリベッド内でドライアウトが生じ、デブリベッドの温度が急激に高くなる。この時の熱流束がドライアウト熱流束となる。粒子状デブリベッドのドライアウト熱流束は、種々の実験が行われ、種々の相関式が提案されている。その中でもLipinski 0-Dモデル^[34]（次頁参照）は、小さい粒径から大きい粒径まで適用可能とされており、広く使われている。MAAPコード内でも压力容器下部プレナムの粒子状ベッドの冷却の評価に使用されている。Lipinski 0-Dモデルでは、ドライアウト熱流束は、主に粒子径、ポロシティ、堆積高さ、圧力に依存する。</p>	<p style="text-align: center;">添付3-2</p> <p style="text-align: center;">粒子状ベッドの冷却性実験と解析モデル</p> <p>粒子状ベッドの冷却性については、高速増殖炉の炉心損傷事故の評価において重要な評価となることから、従来から多くの実験的及び解析的研究が行われてきている。また、TMI-2事故以降は、軽水炉を対象とした研究も進められている。</p> <p>デブリベッド冷却に関する研究の主要な焦点の一つは、デブリベッドの冷却限界が、崩壊熱を上回るかどうかであり、判断基準のパラメータはデブリベッドのドライアウト熱流束と考えられている。発熱する粒子状ベッドの内を流下する冷却水と上昇する蒸気の対向二相流がデブリベッド内で形成される。粒子状デブリベッドの流動状態の模式図を付図2-1に示す。崩壊熱が高いと、局所的にデブリベッド内でドライアウトが生じ、デブリベッドの温度が急激に高くなる。この時の熱流束がドライアウト熱流束となる。粒子状デブリベッドのドライアウト熱流束は、種々の実験が行われ、種々の相関式が提案されている。その中でもLipinski 0-Dモデル（付表2-1参照）は、小さい粒径から大きい粒径まで適用可能とされており、広く使われている。MAAPコード内でも乱流域に対するLipinski 0-Dモデルが粒子状ベッドの冷却の評価に使用されている。Lipinski 0-Dモデルでは、ドライアウト熱流束は、主に粒子径、ポロシティ、堆積高さ、圧力に依存する。</p>	<p>※付録3-2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>付図 5-1 粒子状デブリベッドの流動状態の模式図 [32]</p> <p>この図は、冷却材が粒子状デブリベッドを流下する際の流動状態を示しています。上部には「冷却材」とあり、下部には「蒸気」と「粒子」の向上流を示す矢印があります。右側には「高さH」と「オーバーレイの高さH」の縦軸があり、「デブリベッド高さH」も示されています。粒子は円形として描かれ、その間を冷却材が流れている様子が見えます。</p>	<p>付図 2-1 粒子状ベッド冷却の流動モデル</p> <p>出展：日本機械学会編「沸騰熱伝達と冷却」日本工業出版（平成元年）</p> <p>この図は、粒子状ベッド冷却の流動モデルを示しています。上部には「冷却材」とあり、下部には「蒸気」と「粒子」の向上流を示す矢印があります。右側には「高さH」と「オーバーレイの高さH」の縦軸があり、「デブリベッド高さH」も示されています。粒子は円形として描かれ、その間を冷却材が流れている様子が見えます。</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

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由				
<p>Lipinski 0-Dモデルについて (日本機械学会編「沸騰熱伝達と冷却」より抜粋)</p> <p>c. Lipinskiの0-Dモデル⁽¹¹⁾</p> <p>Lipinskiは多孔質の対向二相流の気液各相で、層流及び乱流に適用できる運動量の式を、連続の式、エネルギーの式と共に連立して解いた。</p> <p>連続の式</p> $\rho_v U_v = \rho_l U_l \quad \dots(8.14)$ <p>運動量の式 (気相)</p> $\rho_v U_v^2 / \eta \eta_v + \mu_v U_v / \kappa \kappa_v + \rho_v g = \Delta P_v / H_b \quad \dots(8.15)$ <p>運動量の式 (液相)</p> $-\rho_l U_l^2 / \eta \eta_l - \mu_l U_l / \kappa \kappa_l + \rho_l g = \Delta P_l / H_b \quad \dots(8.16)$ <p>エネルギー式</p> $\rho_v U_v \Delta h_v = \dot{Q} H_b \quad \dots(8.17)$ <p>圧力の釣合⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾</p> $\Delta P_v - \Delta P_l = \sigma(\epsilon/5\kappa)^{1/2} \quad \dots(8.18)$ <p>ここで、 U：見掛け流速 κ：層流での浸透率 η：乱流での浸透率 $\kappa_v, \kappa_l, \eta_v, \eta_l$：各々層流及び乱流での気液の比浸透率 (無次元)</p> <p>でデブリベッド内の平均液体存在割合 s の関数で、以下のように表わしている⁽⁹⁾。</p> $\kappa = (d^2/180)\epsilon^3/(1-\epsilon)^2$ $\eta = (d/1.75)\epsilon^3/(1-\epsilon)$ $\kappa_v = 1 - 1.11s, \kappa_l = s^3$ $\eta_v = (1-s)^3, \eta_l = s^3$ <p>上述の関係を用いると、式(8.14)～式(8.18)からデブリベッド上面での熱流束 $q (= \dot{Q} H_b)$ は下式で与えられる。</p> $q = \rho_v \Delta h_v u_1 \{ [1 + (u_2/u_1)^2]^{1/2} - 1 \} \quad \dots(8.19)$ $u_1 = \frac{90(1-\epsilon)}{1.75d} \left\{ \frac{\mu_v}{\rho_v(1-1.11s)} + \frac{\mu_l}{\rho_l s^3} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\}$ $u_2 = \left[\frac{d\epsilon^3(\rho_l - \rho_g)g}{1.75(1-\epsilon)} \left\{ 1 + \frac{6\sigma(1-\epsilon)}{\epsilon d(\rho_l - \rho_g)gH_b} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\} \right]^{1/2}$ <p>ドライアウト熱流束は、式(8.19)が $s (0 \leq s \leq 1)$ に関して極大値をとる条件として求まる。</p>	<p>付表2-1 Lipinski 0-Dモデルについて 出展：日本機械学会編「沸騰熱伝達と冷却」日本工業出版 (平成元年)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1059 304 1480 339">モデル</th> <th data-bbox="1480 304 1951 339">実験との比較</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1059 339 1480 1377"> <p>c. Lipinskiの0-Dモデル⁽¹¹⁾</p> <p>Lipinskiは多孔質の対向二相流の気液各相で、層流及び乱流に適用できる運動量の式を、連続の式、エネルギーの式と共に連立して解いた。</p> <p>連続の式</p> $\rho_v U_v = \rho_l U_l \quad \dots(8.14)$ <p>運動量の式 (気相)</p> $\rho_v U_v^2 / \eta \eta_v + \mu_v U_v / \kappa \kappa_v + \rho_v g = \Delta P_v / H_b \quad \dots(8.15)$ <p>運動量の式 (液相)</p> $-\rho_l U_l^2 / \eta \eta_l - \mu_l U_l / \kappa \kappa_l + \rho_l g = \Delta P_l / H_b \quad \dots(8.16)$ <p>エネルギー式</p> $\rho_v U_v \Delta h_v = \dot{Q} H_b \quad \dots(8.17)$ <p>圧力の釣合⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾</p> $\Delta P_v - \Delta P_l = \sigma(\epsilon/5\kappa)^{1/2} \quad \dots(8.18)$ <p>ここで、 U：見掛け流速 κ：層流での浸透率 η：乱流での浸透率 $\kappa_v, \kappa_l, \eta_v, \eta_l$：各々層流及び乱流での気液の比浸透率 (無次元)</p> <p>でデブリベッド内の平均液体存在割合 s の関数で、以下のように表わしている⁽⁹⁾。</p> $\kappa = (d^2/180)\epsilon^3/(1-\epsilon)^2$ $\eta = (d/1.75)\epsilon^3/(1-\epsilon)$ $\kappa_v = 1 - 1.11s, \kappa_l = s^3$ $\eta_v = (1-s)^3, \eta_l = s^3$ <p>上述の関係を用いると、式(8.14)～式(8.18)からデブリベッド上面での熱流束 $q (= \dot{Q} H_b)$ は下式で与えられる。</p> $q = \rho_v \Delta h_v u_1 \{ [1 + (u_2/u_1)^2]^{1/2} - 1 \} \quad \dots(8.19)$ $u_1 = \frac{90(1-\epsilon)}{1.75d} \left\{ \frac{\mu_v}{\rho_v(1-1.11s)} + \frac{\mu_l}{\rho_l s^3} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\}$ $u_2 = \left[\frac{d\epsilon^3(\rho_l - \rho_g)g}{1.75(1-\epsilon)} \left\{ 1 + \frac{6\sigma(1-\epsilon)}{\epsilon d(\rho_l - \rho_g)gH_b} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\} \right]^{1/2}$ <p>ドライアウト熱流束は、式(8.19)が $s (0 \leq s \leq 1)$ に関して極大値をとる条件として求まる。</p> </td> <td data-bbox="1480 339 1951 1377"> </td> </tr> </tbody> </table>	モデル	実験との比較	<p>c. Lipinskiの0-Dモデル⁽¹¹⁾</p> <p>Lipinskiは多孔質の対向二相流の気液各相で、層流及び乱流に適用できる運動量の式を、連続の式、エネルギーの式と共に連立して解いた。</p> <p>連続の式</p> $\rho_v U_v = \rho_l U_l \quad \dots(8.14)$ <p>運動量の式 (気相)</p> $\rho_v U_v^2 / \eta \eta_v + \mu_v U_v / \kappa \kappa_v + \rho_v g = \Delta P_v / H_b \quad \dots(8.15)$ <p>運動量の式 (液相)</p> $-\rho_l U_l^2 / \eta \eta_l - \mu_l U_l / \kappa \kappa_l + \rho_l g = \Delta P_l / H_b \quad \dots(8.16)$ <p>エネルギー式</p> $\rho_v U_v \Delta h_v = \dot{Q} H_b \quad \dots(8.17)$ <p>圧力の釣合⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾</p> $\Delta P_v - \Delta P_l = \sigma(\epsilon/5\kappa)^{1/2} \quad \dots(8.18)$ <p>ここで、 U：見掛け流速 κ：層流での浸透率 η：乱流での浸透率 $\kappa_v, \kappa_l, \eta_v, \eta_l$：各々層流及び乱流での気液の比浸透率 (無次元)</p> <p>でデブリベッド内の平均液体存在割合 s の関数で、以下のように表わしている⁽⁹⁾。</p> $\kappa = (d^2/180)\epsilon^3/(1-\epsilon)^2$ $\eta = (d/1.75)\epsilon^3/(1-\epsilon)$ $\kappa_v = 1 - 1.11s, \kappa_l = s^3$ $\eta_v = (1-s)^3, \eta_l = s^3$ <p>上述の関係を用いると、式(8.14)～式(8.18)からデブリベッド上面での熱流束 $q (= \dot{Q} H_b)$ は下式で与えられる。</p> $q = \rho_v \Delta h_v u_1 \{ [1 + (u_2/u_1)^2]^{1/2} - 1 \} \quad \dots(8.19)$ $u_1 = \frac{90(1-\epsilon)}{1.75d} \left\{ \frac{\mu_v}{\rho_v(1-1.11s)} + \frac{\mu_l}{\rho_l s^3} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\}$ $u_2 = \left[\frac{d\epsilon^3(\rho_l - \rho_g)g}{1.75(1-\epsilon)} \left\{ 1 + \frac{6\sigma(1-\epsilon)}{\epsilon d(\rho_l - \rho_g)gH_b} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\} \right]^{1/2}$ <p>ドライアウト熱流束は、式(8.19)が $s (0 \leq s \leq 1)$ に関して極大値をとる条件として求まる。</p>		
モデル	実験との比較					
<p>c. Lipinskiの0-Dモデル⁽¹¹⁾</p> <p>Lipinskiは多孔質の対向二相流の気液各相で、層流及び乱流に適用できる運動量の式を、連続の式、エネルギーの式と共に連立して解いた。</p> <p>連続の式</p> $\rho_v U_v = \rho_l U_l \quad \dots(8.14)$ <p>運動量の式 (気相)</p> $\rho_v U_v^2 / \eta \eta_v + \mu_v U_v / \kappa \kappa_v + \rho_v g = \Delta P_v / H_b \quad \dots(8.15)$ <p>運動量の式 (液相)</p> $-\rho_l U_l^2 / \eta \eta_l - \mu_l U_l / \kappa \kappa_l + \rho_l g = \Delta P_l / H_b \quad \dots(8.16)$ <p>エネルギー式</p> $\rho_v U_v \Delta h_v = \dot{Q} H_b \quad \dots(8.17)$ <p>圧力の釣合⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾</p> $\Delta P_v - \Delta P_l = \sigma(\epsilon/5\kappa)^{1/2} \quad \dots(8.18)$ <p>ここで、 U：見掛け流速 κ：層流での浸透率 η：乱流での浸透率 $\kappa_v, \kappa_l, \eta_v, \eta_l$：各々層流及び乱流での気液の比浸透率 (無次元)</p> <p>でデブリベッド内の平均液体存在割合 s の関数で、以下のように表わしている⁽⁹⁾。</p> $\kappa = (d^2/180)\epsilon^3/(1-\epsilon)^2$ $\eta = (d/1.75)\epsilon^3/(1-\epsilon)$ $\kappa_v = 1 - 1.11s, \kappa_l = s^3$ $\eta_v = (1-s)^3, \eta_l = s^3$ <p>上述の関係を用いると、式(8.14)～式(8.18)からデブリベッド上面での熱流束 $q (= \dot{Q} H_b)$ は下式で与えられる。</p> $q = \rho_v \Delta h_v u_1 \{ [1 + (u_2/u_1)^2]^{1/2} - 1 \} \quad \dots(8.19)$ $u_1 = \frac{90(1-\epsilon)}{1.75d} \left\{ \frac{\mu_v}{\rho_v(1-1.11s)} + \frac{\mu_l}{\rho_l s^3} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\}$ $u_2 = \left[\frac{d\epsilon^3(\rho_l - \rho_g)g}{1.75(1-\epsilon)} \left\{ 1 + \frac{6\sigma(1-\epsilon)}{\epsilon d(\rho_l - \rho_g)gH_b} \right\} / \left\{ \frac{1}{\rho_v(1-s)^3} + \frac{1}{\rho_l s^3} \right\} \right]^{1/2}$ <p>ドライアウト熱流束は、式(8.19)が $s (0 \leq s \leq 1)$ に関して極大値をとる条件として求まる。</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

u

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>参考文献：</p> <p>[1] (財)原子力発電技術機構 (NUPEC), 「重要構造物安全評価 (原子炉格納容器信頼性実証事業) に関する 総括報告書」 (2003)</p> <p>[2] EPRI, Technical Foundation of Reactor Safety, Revision 1, Knowledge Base for Resolving Severe Accident Issues, 1022186 (2010).</p> <p>[3] B. R. Sehgal, et al., "ACE Project Phases C & D : ACE/MCCI and MACE Tests," Proceedings of the U. S. Nuclear Regulatory Commission, 19th Water Reactor Safety Information Meeting, NUREG/CP-0119, Vol.2 (1991).</p> <p>[4] E. R. Copus, et al., "Sustained Uranium-Concrete Interactions (SURC)", Reactor Safety Research Semiannual Report, NUREG/CR-4805 (1986).</p> <p>[5] G. A. Greene, R. A. Bari, "ISP-24 International Standard Problem No 24, SURC-4 Experiment On Core-Concrete Interactions, Final Workshop Summary Report," CSNI Report No 155, Volume 2 (1989).</p> <p>[6] 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>[7] R. E. Blose, et al., "SWISS: Sustained Heated Metallic Melt/Concrete Interactions With Overlying Water Pools," NUREG/CR-4727 (1987).</p> <p>[8] R. E. Blose, et al., "Core-Concrete Interactions with Overlying Water Pools -The WETCOR-1 Test," NUREG/CR-5907 (1993).</p> <p>[9] M. T. Farmer, et al., "Status of Large Scale MACE Core Coolability Experiments," OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, Germany (1999).</p> <p>[10] M. T. Farmer, et al., "Corium Coolability under Ex-Vessel Accident Conditions for LWRs," Nuc. Eng. and Technol., 41, 5 (2009).</p> <p>[11] H. Nagasaka, et al., "COTELS Project (3): Ex-vessel Debris Cooling Tests," OECD</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>Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, Germany (1999).</p> <p>[12] M. T. Farmer, et al., "OECD MCCI Project Final Report," OECD/MCCI-2005-TR06 (2006).</p> <p>[13] M. T. Farmer, et al., "OECD MCCI-2 Project Final Report," OECD/MCCI-2010-TR07 (2010).</p> <p>[14] D. Magallon, "Characteristics of corium debris bed generated in largescalefuel-coolant interaction experiments," Nucl. Eng. Design, 236 1998-2009(2006).</p> <p>[15] M. Kato, H. Nagasaka, et al., "COTELS Fuel Coolant Interaction Tests underEx-Vessel Conditions," JAERI-Conf 2000-015 (2000).</p> <p>[16] A. Karbojian, et al., "A scoping study of debris bed formation in theDEFOR test facility," Nucl. Eng. Design 239 1653-1659, (2009).</p> <p>[17] T. G. Theofanous, et al., "The Probability of Liner Failure in a Mark-IContainment," NUREG/CR-5423, (1991).</p> <p>[18] G. A. Greene, et al., "Experimental Studies on Melt Spreading, Bubbling HeatTransfer and Coolant Layer Boiling," Proceedings of 16th Water Reactor SafetyInformation Meeting, NUREG/CP-0096, pp. 341-358 (1988).</p> <p>[19] H. Suzuki, et al., "Fundamental Experiment and Analysis for Melt Spreadingon Concrete Floor," Proceedings of 2nd ASME/JSME Nuclear EngineeringConference, Vol. 1, pp. 403-407 (1993).</p> <p>[20] (社) 日本原子力学会, シビアアクシデント熱流動現象評価 (2001)</p> <p>[21] A. Konovalenko, et al., "Experimental Results on Pouring and UnderwaterLiquid Melt Spreading and Energetic Melt-Coolant Interaction," Proceedingsof NUTHOS-9, N9P0303, Taiwan (2012).</p> <p>[22] J. D. Gabor, L. Baker, Jr., and J. C. Cassulo, (ANL), "Studies on HeatRemoval and Bed Leveling of Induction-heated Materials Simulating FuelDebris," SAND76-9008 (1976).</p> <p>[23] Proceedings of the Second OECD(NEA) CSNI Specialist Meeting on Molten CoreDebris-Concrete Interactions, NEA/CSNI/R(92)10, Karlsruhe, Germany (1992).</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>[24] R. J. Lipinski, "A Model for Boiling and Dryout in Particle Beds," NUREG/CR-2646, SAND82-0765 (1982).</p> <p>[25] F. P. Ricou, D. B. Spalding, "Measurements of Entrainment by Axisymmetrical Turbulent Jets," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 11, pp. 21-32 (1961).</p> <p>[26] M. Saito, K. Sato, S. Imahori, "Experimental Study on Penetration Behavior of Water Jet into Freon-11 and Liquid Nitrogen," ANS Proc. of National Heat Transfer Conference, Houston, Texas, USA, (1988).</p> <p>[27] T. N. Dinh, et al., "Core Melt Spreading on a Reactor Containment Floor," Progress in Nuclear Energy, Vol. 36, No. 4, pp. 405-468 (2000).</p> <p>[28] A. Konovalenko, P. Kudinov, "Development of Scaling Approach for Prediction of Terminal Spread Thickness of Melt Poured into a Pool of Water," Proceedings of NUTHOS-9, N9P0302, Taiwan (2012).</p> <p>[29] B. Eppinger, et al., "KATS Experiments to Simulate Corium Spreading in the EPR Core Catcher Concept," FzK, Karlsruhe, Germany.</p> <p>[30] B. Eppinger, et al., "Simulationsexperimente zum Ausbreitungsverhalten von Kernschmelzen: KATS-8 bis KATS-17," FZKA 6589 (2001).</p> <p>[31] I. Lindholm, "A Review of Dryout Heat Fluxes and Coolability of Particle Beds," SKI Report 02:17 (2002).</p> <p>[32] 日本機械学会編, 「沸騰熱伝達と冷却: 第8章 デブリベッドの冷却」, 日本工業出版, 平成元年</p> <p>[33] (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 付録7-4 溶融炉心の粒子化割合, 付録7-5 粒子状物質ベッドの冷却性 付録7-6 粒子状物質の粒子径</p> <p>[34] EPRI/FAI, MAAP4 Computer Code Manual (2007).</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>[35] Q. Zhou, et al., "Benchmark of MCCI Model in MAAP5.02 against OECD CCIE Experiment Series," Proceedings of ICAPP 2014, ICAPP-14352, Charlotte, USA, (2014).</p> <p>[36] J. M. Veteau and R. Wittmaack., "CORINE Experiments and Theoretical Modeling," Proceedings of FISA-95, Luxemburg EUR 16896 EN, pp. 271-285 (1996).</p> <p>[37] R. K. Cole, et al., "CORCON-Mod2: A Computer Program for Analysis of Molten Core-Concrete Interactions," NUREG/CR-3920, SAND84-1246, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1984).</p> <p>[38] 独立行政法人原子力安全基盤機構, 「平成17年度 原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書 =環境への影響緩和(デブリ冷却) =」, 06 基シ報-0003, 平成18年7月</p> <p>[39] M. Hidaka, et al., "Verification for Flow Analysis Capability in the Model of Three-Dimensional Natural Convection with Simultaneous Spreading, Melting and Solidification for the Debris Coolability Analysis Module in the Severe Accident Analysis Code 'SAMPSON', (II)," Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 39, No. 5, p. 520-530 (2002).</p> <p>[40] 中島 他, SAMPSON コードによる ABWR 格納容器ベドスタル上の炉心デブリの3次元拡がり評価, 日本原子力学会「2013 年秋の大会」, H12, 2013 年9 月</p> <p>[41] M. T. Farmer, et al., "OECD MCCI Project 2-D Core Concrete Interaction (CCI) Tests: Final Report," OECD/MCCI-2005-TR05 (2006).</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）

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（第3部 MAAP コード（MAAP 新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【第5部 MAAP より抜粋】</p>	<p>【第3部 MAAP コードより抜粋】</p>	
<p>別添1 新知見への対応について</p>	<p>別添1 新知見への対応について</p>	
<p>1. はじめに</p>	<p>1. はじめに</p>	
<p>MAAP コードは、福島第一原子力発電所1～3号機の事象進展解析に適用されている^[1]。</p>	<p>MAAP コードは、福島第一原子力発電所1～3号機の事象進展解析に適用されている^[1]。</p>	
<p>これらの解析では、システムの応答や外部注水流量等の不確かさの大きな境界条件については、当時の記録に基づいた分析や一部推定を行った上で設定されており、解析結果と実測データとの比較が行われている。この比較結果から、相違点があるプラント挙動や物理現象については検討課題として抽出し、個別に評価・検討が行われている。</p>	<p>これらの解析では、システムの応答や外部注水流量等の不確かさの大きな境界条件については、当時の記録に基づいた分析や一部推定を行った上で設定されており、解析結果と実測データとの比較が行われている。この比較結果から、相違点があるプラント挙動や物理現象については検討課題として抽出し、個別に評価・検討が行われている。</p>	
<p>以下では、この検討を通じて得られた課題や知見のうち、MAAP コードで対象とする現象評価に関連する内容と有効性評価への影響について検討する。また、MAAP コードの改良は米国 EPRI を中心とした MAAP User's Group のもとで継続的に進められており、改良の動向と有効性評価への影響について検討する。</p>	<p>以下では、この検討を通じて得られた課題や知見のうち、MAAP コードで対象とする現象評価に関連する内容と有効性評価への影響について検討する。また、MAAP コードの改良は米国 EPRI を中心とした MAAP User's Group のもとで継続的に進められており、改良の動向と有効性評価への影響について検討する。</p>	
<p>2. 福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項と有効性評価への影響</p>	<p>2. 福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項と有効性評価への影響</p>	
<p>2.1 未確認・未解明事項について</p>	<p>2.1 未確認・未解明事項について</p>	
<p>福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項^[2]のうち、有効性評価に対して影響し得る項目を抽出し、MAAP コードによる有効性評価で留意すべき事項を以下の4項目に大別した。</p>	<p>福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項^[2]のうち、有効性評価に対して影響し得る項目を抽出し、MAAP コードによる有効性評価で留意すべき事項を以下の4項目に大別した。その選定方法については、別紙に示す。</p>	<p>記載内容の相違 ・泊では4項目に大別した選定方法を別紙に記載</p>
<p>(1) 原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について</p>	<p>(1) 原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について</p>	
<p>原子炉圧力容器の水位が低下し炉心が露出すると、過熱した炉心から発生する高温ガスや過熱蒸気により、原子炉圧力容器バウナダリが通常よりも高い温度となる。1号機の MAAP 解析においては、この原子炉内温度の上昇によって原子炉内核計装のドライチューブや主蒸気管フランジ等の原子炉圧力容器上部からドライウェルへの気相漏えいが発生したと仮定している。この現象によって、原子炉圧力容器破損タイミングや格納容器圧力及び温度の上昇等の事象進展に影響を及ぼす可能性がある。</p>	<p>原子炉圧力容器の水位が低下し炉心が露出すると、過熱した炉心から発生する高温ガスや過熱蒸気により、原子炉圧力容器バウナダリが通常よりも高い温度となる。1号機の MAAP 解析においては、この原子炉内温度の上昇によって原子炉内核計装のドライチューブや主蒸気管フランジ等の原子炉圧力容器上部からドライウェルへの気相漏えいが発生したと仮定している。泊3号機においても、原子炉容器や1次冷却材配管からの気相漏えいの発生した場合には、原子炉容器破損タイミングや原子炉格納容器圧力及び温度の上昇等の事象進展に影響を及ぼす可能性がある。</p>	<p>記載表現の相違</p>
<p>(2) 熔融炉心の下部プレナム落下挙動</p>		
<p>1号機の MAAP 解析において、原子炉圧力は3月11日22時頃に急峻なピークを示している。MAAP コードでは、炉心損傷の進展に伴って、固化クラストによって閉塞領域が形成されると熔融炉心は一旦保持されるものの、クラストの破損に伴って、熔融炉心が下部プレナムへの落下を開始するというモデルを採用していることに起因すると考えられる。一方、複雑な下部構造を持つ BWR では、燃料支持金具の冷却水の通過口から熔融した炉心が降下し、下部プレナムに流れ落ちる経路や、熔融プールが</p>		<p>記載内容の相違 ・熔融炉心の下部プレナムへの落下経路は、炉心領域の熔融プールが径方向に拡大</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>炉心の径方向に拡大し、外周部のバイパス領域へ流出し、下部プレナムへ流れ落ちる経路、更に炉心シェラウドと接触・破損させることによってダウンカマへ流出する経路等、流出経路には様々な形態が考えられる。熔融炉心の下部プレナムへの落下挙動は、それ以降の原子炉圧力容器破損等の事象進展に影響を与える可能性がある。</p> <p>(3) 圧力抑制プールの温度成層化について 3号機では、RCICによる注水期間において、原子炉格納容器圧力のMAAP解析結果と実測値に差があり、圧力抑制プールにおいて温度成層化が起きた可能性が指摘されている^[3]。MAAPコードによる有効性評価では、圧力抑制プールのプール水を単一ノードで模擬し、プール水温は均一に上昇する仮定と</p>		<p>して外周部のバイパス領域から落下する経路と、軸方向に拡大して炉心支持板開口部から落下する経路が考えられる。PWRの炉心支持板開口部は支持板に穴を開けた単純構造であり、BWRのように複雑な流路構造を形成していない。また、MAAPコードでは、炉心支持板以下の支持構造はヒートシンクとしてのみ考慮され、落下する熔融炉心を妨げることがないモデルである。よって、泊3号機の「熔融炉心の下部プレナム落下挙動」は事象進展に対して保守的な取り扱いと考えられる。</p> <p>記載内容の相違 ・PWRとBWRの相違によりMAAPコードによる有効性評価で留意す</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>しているのに対し、温度成層化を考慮した場合、原子炉格納容器の圧力及び温度上昇が速くなる可能性がある。</p> <p>(4) 原子炉格納容器の気相漏えいについて 1号機及び2号機のMAAP解析では、格納容器圧力等の実測値を再現するために原子炉格納容器の気相部からの漏えいを仮定しているものの、計測されたパラメータや観測事実からは、漏えい箇所やその規模については直接的な推定が得られていない。一つの要因として格納容器内部で生じた局所的な過温状態による損傷が挙げられている。一方、MAAPコードによる有効性評価では、原子炉格納容器内を代表的な区画にノード分割し、ノード内温度は均一と仮定し、温度分布を評価することはできない。</p> <p>2.2 有効性評価に対する影響について 2.1で挙げられた留意すべき事項に対して、有効性評価に対する影響について以下に考察する。これらの考察より、有効性評価で対象とする事象進展に対しては、MAAPコードによる解析への影響は小さく適用性に問題はないと判断される。</p> <p>(1) 原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について 炉心損傷に伴って発生する高温ガスにより、原子炉圧力容器からの漏えいが生じた場合、原子炉圧力の減圧を促進する。しかしながら、有効性評価において、大破断LOCAを起因事象とするシーケンス</p>	<p>(2) コア・コンクリート反応 熔融燃料が十分に冷却されない場合、熔融燃料と接触した格納容器床面のコンクリートが融点以上まで熱せられることによりコンクリートが分解するコア・コンクリート反応が生じる。コア・コンクリート反応では、水素、一酸化炭素等の非凝縮性ガスが発生する。1号機のMAAP解析においては、コア・コンクリート反応による原子炉格納容器の侵食深さを評価しているが、実際にコア・コンクリート反応がどの程度進展していたかは不確かさが大きいため、それ以降の原子炉格納容器破損等の事故進展に影響を与える可能性があり、泊3号機の評価においても留意する必要がある。</p> <p>(3) 水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動 2号機では、主蒸気逃がし安全弁（SRV）の開操作により、原子炉の強制減圧に成功した。その後原子炉圧力が上昇したことからSRVを1弁追加で開けるも圧力は低下せず、さらに別のSRVを開放したところ原子炉圧力が低下した。この原子炉圧力上昇は、炉心損傷が進んでいると考えられることから、その減圧時の蒸気放出には非凝縮性ガスである水素が大量に含まれているものと考えられる。泊3号機において、非凝縮性ガスの存在により原子炉格納容器の事故進展に影響を与える可能性がある。</p> <p>(4) 原子炉格納容器の気相漏えいについて 1号機及び2号機のMAAP解析では、格納容器圧力等の実測値を再現するために原子炉格納容器の気相部からの漏えいを仮定しているものの、計測されたパラメータや観測事実からは、漏えい箇所やその規模については直接的な推定が得られていない。一つの要因として格納容器内部で生じた局所的な過温状態による損傷が挙げられている。一方、MAAPコードによる有効性評価では、原子炉格納容器内を代表的な区画にノード分割し、ノード内温度は均一と仮定し、温度分布を評価することはできない。</p> <p>2.2 有効性評価に対する影響について 2.1で挙げられた留意すべき事項に対して、有効性評価に対する影響について以下に考察する。これらの考察より、有効性評価で対象とする事象進展に対しては、MAAPコードによる解析への影響は小さく適用性に問題はないと判断される。</p> <p>(1) 原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について 炉心損傷に伴って発生する高温ガスにより、原子炉容器からの漏えいが生じた場合、原子炉圧力の減圧を促進する。しかしながら、有効性評価において、大破断LOCAを起因事象とするシーケンス（雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）、原子炉圧力容器外の熔融燃料—冷却材相互作用、</p>	<p>べき事項が一部異なるが、解析への影響は小さく適用性に問題はない</p> <p>記載表現の相違</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>については、起因事象発生時点で大規模な一次冷却材圧力バウンダリの喪失を仮定していることから、これらの事象による格納容器内事象進展への影響はない。</p> <p>別図 1-2.2-1 及び別図 1-2.2-2 に、炉心損傷に伴う計装用案内管破損を模擬した場合の原子炉圧力及び格納容器温度の比較を示す。これらの図から明かなように、事象進展への影響は小さい。</p> <p>また、過渡事象（TQV）起因のシーケンスでは、原子炉圧力容器からの気相漏えいは、原子炉減圧挙動と水位低下挙動に影響する。</p> <p>高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の防止に係る評価においては、高温ガス発生による気相部漏えいが生じる場合には、原子炉の減圧が促進されるため、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の回避に対して有効に寄与する。さらに、原子炉圧力容器破損前に運転員による原子炉減圧操作が必須となるが、破損までには十分な時間余裕があり、気相漏えいを想定しても破損時間への影響は小さい。別図 1-2.2-3 に、炉心損傷に伴う計装用案内管破損を模擬した場合の原子炉圧力の比較を示す。計装用案内管温度が融点に到達した時点で損傷するとした本感度解析では、その損傷は原子炉減圧後に発生しており、原子炉減圧操作への影響はない。</p> <p>溶融炉心と冷却材の相互作用及び溶融炉心とコンクリートの相互作用においては、原子炉減圧後の現象を評価するため、原子炉圧力容器破損前のベデスタル注水が必須となる。しかしながら、上述のように十分な時間余裕があり、かつ、評価においては、原子炉水位が有効燃料棒底部まで低下する以前に原子炉減圧操作を実施しており、炉心損傷初期の段階であることから、原子炉圧力容器の気相漏えいを仮定しても破損時間に対する影響は小さく、運転操作に対する影響はない。</p>	<p>溶融炉心・コンクリート相互作用、水素燃焼）については、起因事象発生時点で大規模な一次冷却材圧力バウンダリの喪失を仮定していることから、これらの事象による原子炉格納容器内事象進展への影響はない。</p> <p>また過渡事象起因のシーケンス（雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱）では、原子炉容器からの気相漏えいや漏えい量の増加は、原子炉減圧挙動と水位挙動に影響する。</p> <p>雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の防止に係る評価においては、高温ガス発生による気相部漏えいが生じる場合には、原子炉の減圧が促進されるため、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の回避に対して有効に寄与する。さらに、原子炉容器破損前に運転員による原子炉減圧操作が必須となるが、破損までには十分な時間余裕があり、気相漏えいを想定しても破損時間への影響は小さい。よって、有効性評価への影響は小さいと考えられる。</p> <p>また、有効性評価のうち、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）」の評価において、添付資料7.2.1.2.2「全交流動力電源喪失＋補助給水失敗」における原子炉冷却材圧力バウンダリから現実的な漏えいを想定した場合の事象進展について」で、原子炉冷却材圧力バウンダリから漏えいが発生した場合の運転員等操作時間に与える影響及び評価項目となるパラメータに与える影響が小さいことを確認している。</p>	<p>・泊では具体的な破損モードを記載</p> <p>記載内容の相違</p> <p>・泊では計装用案内管破損を模擬した解析を実施している</p> <p>記載内容の相違</p> <p>・シーケンスの相違</p> <p>記載内容の相違</p>
<p>(2) 溶融炉心の下部プレナム落下挙動</p> <p>有効性評価のうち、「格納容器過圧・過温破損」の評価において、原子炉圧力容器が破損しないシーケンスを想定するシナリオでは、溶融炉心の下部プレナム落下前に冷却される状態を対象としているため、本現象の影響はない。</p> <p>下部プレナムへの溶融炉心落下が発生するシーケンスについては、本文「3.3.6 溶融炉心の挙動モデル」で述べたように、MAAP コードでは、溶融炉心の下部プレナムへの落下は、炉心支持板が破損するか、クラストが破損して溶融炉心を保持できなくなった場合に開始され、落下する溶融炉心の量は、仮想的なデブリジェット径等により計算されている。一方、燃料支持金具等の炉心下部構造物を介した溶融炉心の移行は、別図 1-2.2-4 に示す経路が想定され、溶融炉心が下部プレナムへ移行する場合、</p>		<p>記載内容の相違</p> <p>・溶融炉心の下部プレナムへの落下経路は、炉心領域の溶融プールが径方向に拡大して外周部のパイパス領域から落下する経路と、</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>これらの構造物との熱的な相互作用によって、その経路で一部が固化し、落下流量が低減される等の影響が想定される。したがって、これらを考慮していない現行評価は、原子炉压力容器下部ヘッドへの熱負荷を計算する上で、保守的な扱いといえる。</p> <p>また、同じく「3.3.6 熔融炉心の挙動モデル」で述べたように、MAAP コードでは、熔融炉心の径方向のリロケーションは下部ノードが閉塞した以降に発生し、熔融領域は炉心シュラウドまで到達しない想定としている。熔融炉心が炉心シュラウドと接触した場合、炉心シュラウドを熔融貫通する可能性はあるものの、その径方向への進展は下部ノードの閉塞挙動等に依存した極めて不確かさの大きな現象と考えられる。さらに、熔融炉心が炉心シュラウドを熔融貫通した場合の下部プレナムへの移行は、ジェットポンプ等の貫通後に発生するが、ジェットポンプ内部に冷却材が存在している場合には、熔融炉心が一時的に冷却される等の効果も期待される。このようなことから、炉心下部構造物を介した移行に比べて、主要なリロケーション経路となり得るとは考えにくく、有効性評価への影響は小さいと考えられる。</p> <p>(3) 圧力抑制プールの温度成層化について（別添1（補足）参照）</p> <p>原子炉隔離時冷却系の運転方法として、福島第一原子力発電所3号機と同様にテストラインを使用し注水流量を制御するような運転方法とした場合、圧力抑制プールの温度成層化による原子炉格納容器の圧力上昇が生じる可能性がある。しかしながら、原子炉隔離時冷却系が間欠運転（L-2とL-8の自動制御）の場合、原子炉隔離時冷却系が停止している間に原子炉圧力が上昇し、逃がし安全弁が作動することにより温度成層化の発生の可能性は小さくなる。また、原子炉隔離時冷却系の注水流量調整のみによる制御とした場合においても、消費される駆動蒸気量の減少により逃がし安全弁の作動回数が増え、温度成層化の発生可能性は小さくなる可能性がある。</p>		<p>軸方向に拡大し て炉心支持板開 口部から落下す る経路が考えら れる。PWRの炉心 支持板開口部は 支持板に穴を空 けた単純構造で あり、BWRのよう に複雑な流路構 造を形成してい ない。また、MAAP コードでは、炉心 支持板以下の支 持構造はヒート シンクとしての み考慮され、落下 する熔融炉心を 妨げることがな いモデルである。 よって、泊3号機 の“熔融炉心の下 部プレナム落下 挙動”は事象進展 に対して保守的 な取り扱いと考 えられる。</p> <p>記載内容の相違 ・PWRとBWRの相 違によりMAAPコ ードによる有効 性評価で留意す べき事項が一部 異なるが、解析へ の影響は小さく</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>一方、低圧代替注水系を用いた原子炉注水時において成層化の発生可能性はあるものの、原子炉格納容器圧力に対する影響は小さいものと考えられる。</p> <p>(4) 原子炉格納容器の気相漏えいについて 福島第一原子力発電所事故においては、原子炉格納容器内で局所的な過温状態となって、気相部に漏えいが生じた可能性が指摘されている。重大事故時の原子炉格納容器内温度分布は、損傷炉心及び核分裂生成物の分布やその冷却状態、また、原子炉格納容器への注水等によるガス攪拌に資する駆動力の有無にも依存することから、MAAPの評価体系で原子炉格納容器内の温度分布を精度よく評価することは困難である。</p>	<p>(2) コア・コンクリート反応 有効性評価のうち、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」の評価において、添付資料7.2.1.1.18「熔融炉心・コンクリート相互作用が発生した場合の原子炉格納容器圧力及び温度への影響について」で、コア・コンクリート反応の不確かさを考慮し、原子炉下部キャビティ床面での熔融炉心の拡がり小さく、局所的に熔融炉心が堆積するような条件での感度解析を実施した。 感度解析ケースでは、基本ケースに比べて熔融炉心の拡がり面積及び熔融炉心からの原子炉下部キャビティ水への熱流束を制限していることから熔融炉心が十分冷却されるまでの時間が長くなる。このため、原子炉格納容器圧力及び温度の上昇は緩やかになる。その後コンクリート侵食による非凝縮性ガスの発生により原子炉格納容器圧力及び温度は上昇するものの、原子炉下部キャビティ水により熔融炉心が冷却されることでコンクリート侵食は停止するため、これらの要因による原子炉格納容器圧力及び温度の上昇は一時的なものである。</p> <p>また、有効性評価のうち、「熔融炉心・コンクリート相互作用」の評価において、添付資料7.2.5.2「解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価について（熔融炉心・コンクリート相互作用）」で、解析コード及び解析条件の不確かさの評価を実施しており、運転員等操作時間に与える影響及び評価項目となるパラメータに与える影響が小さいことを確認している。</p> <p>(3) 水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動 炉心損傷が進んでいる場合、その減圧時には水素等の非凝縮性ガスを多く含んだ蒸気が放出されることにより原子炉格納容器の事故進展に影響を与える可能性がある。 有効性評価のうち、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」の評価において、添付資料7.2.1.1.20「格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却の水素濃度に対する影響について」で、原子炉格納容器内の水素濃度の不確かさを考慮した場合の、原子炉格納容器圧力及び温度に対する影響を確認した。水素濃度が高く、格納容器再循環ユニットの除熱量が低下した場合でも、原子炉格納容器圧力及び温度への影響は軽微であることを確認している。</p> <p>(4) 原子炉格納容器の気相漏えいについて 福島第一原子力発電所事故においては、原子炉格納容器内で局所的な過温状態となって、気相部に漏えいが生じた可能性が指摘されている。重大事故時の原子炉格納容器内温度分布は、損傷炉心及び核分裂生成物の分布やその冷却状態、また、原子炉格納容器への注水等によるガス攪拌に資する駆動力の有無にも依存することから、MAAPの評価体系で原子炉格納容器内の温度分布を精度よく評価することは困難である。</p>	<p>適用性に問題はない</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>一方、福島第一原子力発電所事故で推定されている局所的な過温状態の発生を回避するため、重大事故等対策として、原子炉及び格納容器への代替注水等を整備し、その有効性を確認することが有効性評価の目的となっている。すなわち、これらの対策によって、原子炉圧力容器内損傷炉心の非冷却状態長期化を防止でき、また、原子炉格納容器への注水によって、雰囲気を十分攪拌させて高温気体の局所的な滞留を防止できるため、局所的な過温は回避可能と考えられる。</p> <p>このような観点から、本文「3.3.4 格納容器モデル」の図3.3-6に例示した原子炉格納容器のノード分割方法は、原子炉格納容器の過圧・過温に対する有効性評価に適用可能である。</p>	<p>一方、福島第一原子力発電所事故で推定されている局所的な過温状態の発生を回避するため、重大事故等対策として、代替格納容器スプレイポンプによる代替格納容器スプレイ、格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却等を整備し、その有効性を確認することが有効性評価の目的となっている。すなわち、これらの対策によって、溶融炉心の非冷却状態長期化を防止でき、また、原子炉格納容器への注水によって、雰囲気を十分攪拌させて高温気体の局所的な滞留を防止できるため、局所的な過温は回避可能と考えられる。</p> <p>このような観点から、有効性評価のうち、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」の評価において、添付資料 7.2.1.1.4「MAAP での原子炉格納容器モデルについて」に例示した原子炉格納容器のノード分割方法は、原子炉格納容器の過圧・過温に対する有効性評価に適用可能である。</p>	<p>対策の相違</p> <p>記載内容の相違</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）

泊発電所3号炉 有効性評価 比較表

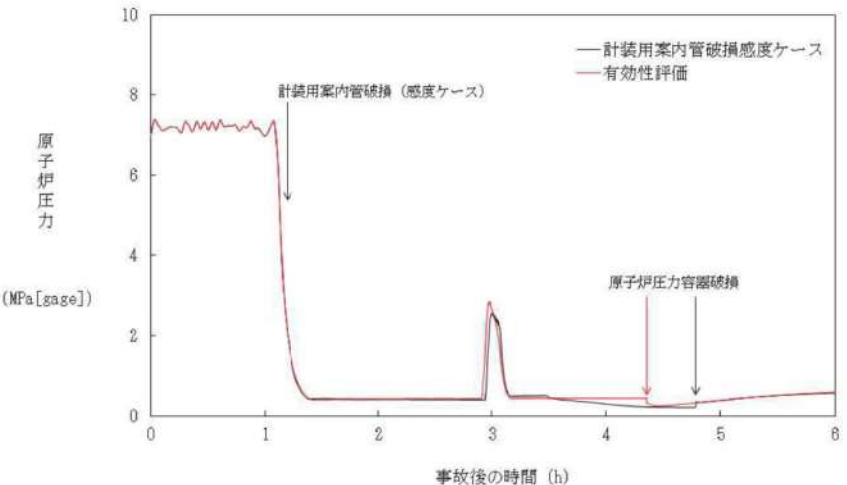
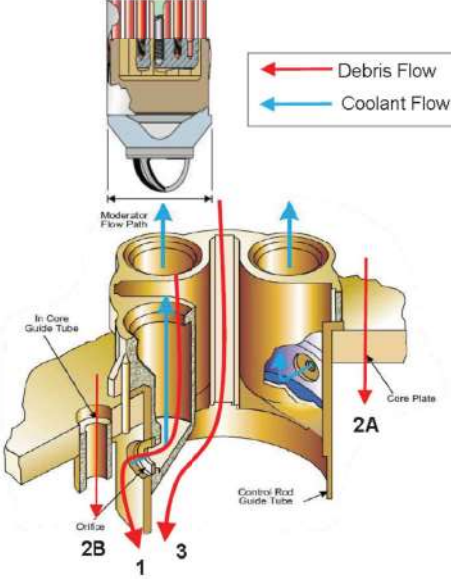
付録3 重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

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="174 180 1019 667" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="264 683 922 746" data-label="Caption"> <p>別図 1-2.2-1 大破断LOCA時注水機能喪失（原子炉圧力容器破損） における原子炉圧力変化の比較</p> </div> <div data-bbox="230 834 1019 1329" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="264 1345 922 1409" data-label="Caption"> <p>別図 1-2.2-2 大破断LOCA時注水機能喪失（原子炉圧力容器破損） における格納容器温度変化の比較</p> </div>		<p>記載内容の相違 ・泊では有効性評価で計装用案内管破損を模擬した解析を実施している</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>別図 1-2.2-3 高圧・低圧注水機能喪失における原子炉圧力変化の比較</p>  <p>別図 1-2.2-4 炉心下部構造物を介した溶融炉心の移行経路^[4]</p>		<p>設計の相違</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（第3部 MAAP コード（MAAP 新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. MAAP コード改良の動向について</p> <p>3.1 MAAP コードの改良^[6]</p> <p>MAAP コード最新バージョンで追加された物理現象モデル^[6]のうち、有効性評価に関連すると考えられる主要なモデルについて、推定される影響を整理する。</p> <p>(1) 炉心モデル</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、制御材である B₄C の酸化モデルが追加されている。B₄C 酸化については、QUENCH 実験において、B₄C 酸化による H₂ 発生量全体に寄与する割合は QUENCH-07 で 2.4%、QUENCH-09 で 2.2%と小さいことが確認されている。すなわち、炉心損傷進展に伴う不確かさに比べればその影響は小さく、有効性評価への影響は小さいと考えられる。</p> <p>(2) 一次系モデル</p> <p>(a) 主蒸気管ノードの追加</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、主蒸気管ノードが一次系ノードに追加され、高温ガスによるクリープ損傷がモデル化されている。本現象は、炉心損傷後に原子炉圧力容器内に長時間高温・高圧状態に維持される場合に生じ得るが、有効性評価では、運転員操作による炉心損傷の初期段階での原子炉減圧を想定しているため、主蒸気管のクリープ損傷が発生する可能性は小さいと考えられる。</p> <p>また、仮にクリープ損傷が生じた場合にも、2.2における原子炉圧力容器からの気相漏えいと同等に事象進展への影響は小さいと推定される。</p> <p>(b) 計装管損傷モデルの追加</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、原子炉内核計装等の計装管の損傷がモデル化されており、損傷した計装管への溶融炉心の侵入と固化挙動が評価可能となっている。計装管損傷の影響は、2.1及び2.2で述べたように原子炉圧力容器からの気相漏えいとして現れるが、上述のように有効性評価で対象とする事故シーケンスへの影響は小さいと考えられる。</p> <p>(3) 下部プレナム内デブリモデル</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、OECD/NEA 国際プロジェクト RASPLAV^[6]及び MASCA^[7]計画の知見を反映し、下部プレナム内で重金属層（金属ウラン）が酸化物層（二酸化ウラン、酸化ジルコニウム）の下方に成層化するモデルが追加されている。しかしながら、本現象は、原子炉圧力容器を外部から冠水させて溶融炉心を下部プレナム内に長期間保持する対策をとる際に重要となるものであり、有効性評価では下部プレナム内に溶融炉心を保持して事故収束させるシーケンスを対象としていないため、影響はない。</p> <p>(4) 格納容器モデル</p> <p>(a) 圧力抑制プールの多ノード化</p>	<p>3. MAAP コードの改良の動向について</p> <p>3.1 MAAP コードの改良^[6]</p> <p>MAAP コード最新バージョンで追加された物理現象モデル^[6]のうち、有効性評価に関連すると考えられる主要なモデルについて、推定される影響を整理する。</p> <p>(1) 炉心モデル</p> <p>MAAP コードの最新バージョンでは、高温領域でのジルコニウム-水反応モデルに Urbanic-Heidrick の式(U-Hの式)が追加されている。U-H 式は、有効性評価に適用している現行 MAAP で使用する Baker-Just の式に比べ、ジルコニウム-水反応を抑制する傾向にある。しかしながら、U-H 式の適用は高温領域に限定されることから、有効性評価への影響は小さいと考えられる。</p> <p>(2) 1次系モデル</p> <p>(a) ループモデルの改良</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、1次系の各ループをそれぞれ独立に模擬できるモデルが追加されている。</p> <p>有効性評価に適用している現行 MAAP では、3つあるループを2グループに分けて模擬するが、有効性評価で対象とする事故シーケンスは、3つのループをそれぞれ独立に模擬する必要がある現象を含んでいない。したがって、このモデル改良が有効性評価へ与える影響は小さいと考えられる。</p> <p>(b) 計装管損傷モデルの追加</p> <p>MAAP コードの最新バージョンでは、原子炉容器下部プレナム内の計装管の損傷モデルが追加されており、損傷した計装管への溶融炉心の侵入と固化挙動が評価可能となっている。計装管損傷の影響は、原子炉容器からの気相漏えいとして現れるが、2.2で述べたように有効性評価への影響は小さいと考えられる。</p> <p>(3) 下部プレナム内デブリモデル</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、OECD/NEA 国際プロジェクト RASPLAV^[4]及び MASCA^[6]計画の知見を反映し、下部プレナム内で重金属層（金属ウラン）が酸化物層（二酸化ウラン、酸化ジルコニウム）の下方に成層化するモデルが追加されている。しかしながら、本現象は、原子炉容器を外部から冠水させて溶融炉心を下部プレナム内に長期間保持する対策をとる際に重要となるものであり、有効性評価では下部プレナム内に溶融炉心を保持して事故収束させるシーケンスを対象としていないため、影響はない。</p> <p>(4) 格納容器モデル</p> <p>(a) 放射線水分解モデルの追加</p>	<p>記載内容の相違</p> <p>・PWR と BWR の相違により MAAP コードのモデルが異なるが、有効性評価への影響は小さい点では同様</p> <p>記載表現の相違</p> <p>記載内容の相違</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）

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（第3部 MAAP コード（MAAP 新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>MAAP コード最新バージョンでは、圧力抑制プールの多ノードモデルが追加されており、逃がし安全弁排気管からの入熱等による温度分布を評価することが可能となっている。これにより、圧力抑制プール水の温度成層化の模擬が可能である。</p> <p>この多ノード化については、2.2 で述べたように、圧力抑制プールの温度成層化は、逃がし安全弁の作動状況に依存するものの、原子炉格納容器圧力に対する影響は小さいと考えられる。</p>	<p>MAAP コード最新バージョンでは、放射線水分解モデルが追加されており、水の放射線分解による水素発生を評価することが可能となっている。</p> <p>有効性評価に適用している現行 MAAP では、水の放射線分解による水素発生を考慮していないが、水素発生を主要因となるジルコニウム-水反応を考慮しており、水の放射線分解による水素発生影響は小さい。したがって、本モデル改良が有効性評価で対象とする事故シーケンスへの影響は小さいと考えられる。</p>	<p>・PWR と BWR の相違により MAAP コードのモデルが異なるが、有効性評価への影響は小さい点では同様</p>
<p>(b) 溶融炉心とコンクリート相互作用モデルの改良</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、OECD/NEA 国際プロジェクト MCCI 計画^{[9][10]}の知見を反映して、溶融炉心の上部クラストに形成された亀裂への水浸入による冷却効果、コンクリート分解気体がクラスト開口部を通過する際に気体に随伴されて溶融物が噴出することによって形成される粒子状デブリの堆積とその冷却効果及び連続層の減少、溶融炉心のコンクリート含有に伴う上面水プールへのドライアウト熱流束低下等がモデル化されており、MCCI 試験結果との比較による妥当性確認が行われている^[11]。</p> <p>これらの物理現象モデルの根拠となった試験では、溶融物落下後にドライ条件である程度コンクリート侵食が進んだ後に上部から注水（TopFlooding）する条件で行われており、有効性評価で対象としている、溶融炉心が水中へ落下し、粒子化した後、床面に粒子状ベッドとして堆積する場合の伝熱挙動とは異なるため、このモデル改良が、有効性評価にそのまま適用されるわけではない。しかしながら、溶融炉心の挙動に係る知見の拡充については継続的に進め、有効性評価に影響するような新たな知見が出た場合には適宜評価に反映することが重要と考える。</p>	<p>(b) 溶融炉心とコンクリート相互作用モデルの改良</p> <p>MAAP コード最新バージョンでは、OECD/NEA 国際プロジェクト MCCI 計画等^{[6][7][8]}の知見を反映して、溶融炉心の上部クラストに形成された亀裂への水浸入による冷却効果、コンクリート分解気体がクラスト開口部を通過する際に気体に随伴されて溶融物が噴出することによって形成される粒子状デブリの堆積とその冷却効果及び連続層の減少、溶融炉心のコンクリート含有に伴う上面水プールへのドライアウト熱流束低下等がモデル化されており、MCCI 実験の結果との比較による妥当性確認が行われている^[9]。</p> <p>有効性評価に適用している現行 MAAP では、添付資料 7.2.1.1.18「溶融炉心・コンクリート相互作用が発生した場合の原子炉格納容器圧力及び温度への影響について」で、コア・コンクリート反応の不確実さを考慮し、MCCI 実験の結果（SWISS 実験、CCI 実験、SSWICS 実験）に基づき、溶融炉心の状態に合わせて熱流束を制限する感度解析を実施した。したがって、このモデル改良が有効性評価へ与える影響は小さいと考えられる。しかしながら、溶融炉心の挙動に係る知見の拡充については継続的に進め、有効性評価に影響するような新たな知見が出た場合には適宜評価に反映することが重要と考える。</p>	<p>記載表現の相違 ・泊は参照する文献が OECD/NEA だけでなく EPRI も含むことから等を記載 記載内容の相違</p>
<p>3.2 福島第一原子力発電所事故を踏まえた MAAP コードの改良</p> <p>福島第一原子力発電所の事象進展説明や燃料デブリ位置推定・炉内状況把握を目的とした MAAP コード高度化が推進されている^[4]。主要な項目としては、下記のとおり、溶融炉心の挙動に重点を置いたものとなっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部プレナムへの溶融炉心リロケーション経路の追加 ・下部プレナム内構造物と溶融炉心との相互作用 ・原子炉格納容器内デブリ拡がりモデルの追加 <p>(1) 下部プレナムへの溶融炉心リロケーション経路の追加</p> <p>BWR の炉心下部構造を模擬した溶融炉心の下部プレナムへの落下経路が追加された。2.1 及び 2.2 にて示したように、本モデルによって、下部プレナムへの落下流量が低減されるため、下部ヘッドへの熱負荷も軽減され、原子炉圧力容器破損時間も遅延されると推定される。したがって、有効性評価に適用している現行 MAAP は保守的な扱いとなっていると考えられる。</p>	<p>3.2 福島第一原子力発電所事故を踏まえた MAAP コードの改良</p> <p>福島第一原子力発電所の事象進展説明や燃料デブリ位置推定・炉内状況把握を目的とした MAAP コード高度化が推進されている^[10]。主要な項目としては、下記のとおり、溶融炉心の挙動に重点を置いたものとなっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部プレナムへの溶融炉心リロケーション経路の追加 ・下部プレナム内構造物と溶融炉心との相互作用 ・原子炉格納容器内デブリ拡がりモデルの追加 <p>これらモデル改良は BWR に特化したものであるため、有効性評価に適用している現行 MAAP に影響はない。しかしながら、溶融炉心の挙動に係る知見の拡充については継続的に進め、有効性評価に影響するような新たな知見が出た場合には適宜評価に反映することが重要と考える。</p>	<p>記載内容の相違 ・MAAP コードの改良は BWR に特化したものであるため記載内容が異なる</p> <p>以上</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 下部プレナム内構造物と溶融炉心との相互作用</p> <p>BWR 下部プレナムは制御棒（CR）案内管・制御棒駆動機構（CRD）ハウジング等の構造物を有している。有効性評価に適用している現行MAAPでは、これらを1個のヒートシンクとしてモデル化しているが、径方向に複数のグループに分類して、下部プレナム内溶融炉心との接触面積の相違を考慮し、CR案内管・CRDハウジング内冷却水保有量とそれらの溶融をグループごとに評価するモデルが追加された。これによって、炉心部から下部プレナムへの溶融炉心の落下が段階的に発生する。すなわち、(1)と同様に、下部プレナムへの落下流量が低減されるため、下部ヘッドへの熱負荷も軽減され、原子炉圧力容器破損時間も遅延されると推定される。</p> <p>(3) 原子炉格納容器内デブリ拡がりモデルの追加</p> <p>有効性評価に適用している現行MAAPでは、原子炉圧力容器破損後に格納容器床に落下する溶融炉心は、ユーザーが指定する床面積まで直ちに拡がるモデルとなっている。この拡がり挙動を現実的に評価することを目的として、拡がり速度を指定可能とするデブリ拡がりモデルが追加されている。本モデルは、原子炉圧力容器から段階的に溶融炉心が落下する場合に拡がり制限される可能性があるが、BWRで支配的なCRDハウジング逸出による破損モードの場合、瞬時に大量の溶融物が落下するため、拡がり挙動の影響は小さいと考えられる。</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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由										
<p>【該当する資料無し】</p>	<p style="text-align: right;">別添1 別紙</p> <p>福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項のうち、MAAPコードによる有効性評価に対して留意すべき項目の抽出過程について</p> <p>福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項より、MAAPコードによる泊3号炉の有効性評価において留意すべき項目として4項目（表1）を抽出しており、その抽出過程について本資料にまとめた。</p> <p style="text-align: center;">表1 MAAPコードによる泊3号炉の有効性評価において留意すべき項目</p> <table border="1" data-bbox="1153 523 1888 734"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">泊3号炉</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">(1)</td> <td>原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(2)</td> <td>コア・コンクリート反応について</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(3)</td> <td>水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(4)</td> <td>原子炉格納容器の気相漏えいについて</td> </tr> </tbody> </table> <p>福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項にかかる報告書「福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第6回進捗報告 2022年11月10日 東京電力ホールディングス株式会社」（以下、「東電報告書」と記載）では、課題リストとして、「共通」及び「各号機」別に、合計52項目が抽出されている。</p> <p style="text-align: center;">課題リスト～共通～： 共通-1 ～ 共通-16 ⇒ 16項目 課題リスト～1号機～： 1号機-1 ～1号機-11 ⇒ 11項目 課題リスト～2号機～： 2号機-1 ～2号機-13 ⇒ 13項目 課題リスト～3号機～： 3号機-1 ～3号機-12 ⇒ 12項目</p> <p>これら52項目は、図1に示すように、A～Dの4つの分類とさらなる細分類にて整理されているが、A「機器の動作・応答・特性」、C「地震・津波」及びD「その他」（ヒューマンファクター）については、MAAPコードによる事象進展解析とは直接的には関係がないと考えられるため、これらを除外し、B「炉心損傷・放射性物質放出への進展とメカニズム」について留意すべきかについて検討した。</p> <p>さらに、B「炉心損傷・放射性物質放出への進展とメカニズム」は、①～⑦に細分化されているが、①「圧力・水位・温度の挙動」、②「炉心損傷過程・デブリ挙動」、③「RPV漏えい」及び④「PCV漏えい」は、MAAPコードによる事象進展解析に直接的に関係する可能性があると考えられる。一方で、⑤「核種放出・線量上昇・汚染」、及び⑥「水素爆発」は、MAAPコードによる事象進展解析を参考にしつつも、MAAPコード以外の計算コード・手法による評価を「有効性評価」として最終的に実施すること</p>	泊3号炉		(1)	原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について	(2)	コア・コンクリート反応について	(3)	水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動	(4)	原子炉格納容器の気相漏えいについて	<p>記載内容の相違</p> <p>・泊は福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項において留意すべき項目の選定方法について記載</p>
泊3号炉												
(1)	原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について											
(2)	コア・コンクリート反応について											
(3)	水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動											
(4)	原子炉格納容器の気相漏えいについて											

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）

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（第3部 MAAP コード（MAAP 新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<p>から、ここでは着目しないこととした。また、⑦「その他」についても、MAAP コードでの事象進展解析には関係しないものと判断した。その結果、B①～B④の中から7項目が残った。B①のうち、2号機-7「強制減圧後の原子炉圧力の上昇について」は有効性評価において主要因と影響を考慮済であること、2号機-11「原子炉格納容器の気相漏えいについて」はB④1号機-6「原子炉格納容器の気相漏えいについて」と概ね重複すること、B③のうち、3号機-9「原子炉圧力容器の気相漏えいについて」は1号機-5「原子炉圧力容器の気相漏えいについて」と概ね重複することから片方で代表させた。選定フローについては図2、選定した7項目と採否については表2に示す。</p> <p>以上より、B①～B④の4項目で細分化される福島第一原子力発電所事故の未確認・未解明事項に対して、それぞれから1項目を抽出した。</p> <div data-bbox="1070 587 1944 1289" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: right;">以上</p> </div>	

図1 東電報告書における福島第一原子力発電所事故未確認・未解明事項の分類
 （報告書 P.90 より抜粋）

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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	相違理由
	<pre> graph TD A[抽出された52項目] --> B{MAAPの事象進展に直接関係するか} B -- NO --> C["(分類A、C、D、Bの⑦)"] B -- YES --> D{最終的にMAAPで評価するか} D -- NO --> E["(分類Bの⑤、⑥)"] D -- YES --> F{PWRに置換え可能か} F -- NO --> G["(分類Bの①～④のうち13項目)"] F -- YES --> H["(項目Bの①～④のうち7項目)"] H --> I{重複、類似、考慮していないか} I -- NO --> J["(分類B①～④の7項目のうち3項目)"] I -- YES --> K["【採用項目】 B 炉心損傷・放射性物質放出への進展とメカニズムからそれぞれ代表的な1項目を以下の通り抽出 ①水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動 ②コア・コンクリート反応について ③原子炉圧力容器からの気相漏えいの発生について ④原子炉格納容器の気相漏えいについて"] C --> L["【不採用項目】 A 機器の動作・応答・特性(①～⑥) C 地震・津波(①、②) D その他(ヒューマンファクター) B 炉心損傷・放射性物質放出への進展とメカニズム(①～④の16項目、⑤、⑥、⑦)"] E --> L G --> L J --> L </pre>	

図2 福島第一原子力発電所事故未確認・未解明事項から有効性評価において留意すべき項目の選定フロー

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）

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（第3部MAAPコード（MAAP新知見への対応））

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2 選定した7項目について</p> <table border="1" data-bbox="1117 263 1944 952"> <thead> <tr> <th>細分類</th> <th>項目</th> <th>採否</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B①</td> <td>2号機-7 強制減圧後の原子炉圧力の上昇について</td> <td>不採用 主な要因は有効性評価にて考慮済</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2号機-10 水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動</td> <td>採用</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2号機-11 原子炉格納容器の気相漏えいについて</td> <td>採用 ただし、概ね内容重複するためB④1号機-6にて代表させた</td> </tr> <tr> <td>B②</td> <td>共通-5 コア・コンクリート反応について</td> <td>採用</td> </tr> <tr> <td>B③</td> <td>1号機-5 原子炉圧力容器の気相漏えいについて</td> <td>採用</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3号機-9 原子炉圧力容器の気相漏えいについて</td> <td>採用 ただし、概ね内容重複するためB③1号機-5にて代表させた</td> </tr> <tr> <td>B④</td> <td>1号機-6 原子炉格納容器の気相漏えいについて</td> <td>採用</td> </tr> </tbody> </table>	細分類	項目	採否	B①	2号機-7 強制減圧後の原子炉圧力の上昇について	不採用 主な要因は有効性評価にて考慮済		2号機-10 水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動	採用		2号機-11 原子炉格納容器の気相漏えいについて	採用 ただし、概ね内容重複するためB④1号機-6にて代表させた	B②	共通-5 コア・コンクリート反応について	採用	B③	1号機-5 原子炉圧力容器の気相漏えいについて	採用		3号機-9 原子炉圧力容器の気相漏えいについて	採用 ただし、概ね内容重複するためB③1号機-5にて代表させた	B④	1号機-6 原子炉格納容器の気相漏えいについて	採用	
細分類	項目	採否																								
B①	2号機-7 強制減圧後の原子炉圧力の上昇について	不採用 主な要因は有効性評価にて考慮済																								
	2号機-10 水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動	採用																								
	2号機-11 原子炉格納容器の気相漏えいについて	採用 ただし、概ね内容重複するためB④1号機-6にて代表させた																								
B②	共通-5 コア・コンクリート反応について	採用																								
B③	1号機-5 原子炉圧力容器の気相漏えいについて	採用																								
	3号機-9 原子炉圧力容器の気相漏えいについて	採用 ただし、概ね内容重複するためB③1号機-5にて代表させた																								
B④	1号機-6 原子炉格納容器の気相漏えいについて	採用																								

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）

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（第3部 MAAP コード（MAAP 新知見への対応））

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] 東京電力株式会社, “MAAP コードによる炉心・格納容器の状態の推定,” 平成 24 年 3 月 12 日</p> <p>[2] 東京電力株式会社, “福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第3回進捗報告,” 平成 27 年 5 月 20 日</p> <p>[3] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, “圧力抑制室保有水の温度成層化による原子炉格納容器圧力等への影響等の検討,” 平成 24 年 2 月 1 日</p> <p>[4] Y. Kojima, et al., “MAAP Enhancements for Ascertaining and Analyzing Reactor Core Status in Fukushima Daiichi NPP”, Proceedings of ICAPP 2014, Charlotte, USA, April 6-9, 2014, Paper 14209.</p> <p>[5] Electric Power Research Institute, “Modular Accident Analysis Program 5 (MAAP5) Applications Guidance”, May 2015.</p> <p>[6] “IN-VESSEL CORE DEBRIS RETENTION AND COOLABILITY Workshop Proceedings”, 3-6 March 1998, Garching, Germany (NEA/CSNI/R(98)18).</p> <p>[7] D. F. Tsurikov, et al., “Main Results of the MASCA 1 and 2 Projects”, Russian Research Centre “KURCHATOV INSTITUTE”, OECD MASCA Project (2007).</p> <p>[8] M. T. Farmer, et al., “Corium Coolability under Ex-Vessel Debris Cooling Tests”, Proc. Of OECD/CSNI Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, Germany (1999).</p> <p>[9] M. T. Farmer, et al., “OECD MCCI Project Final Report”, OECD/MCCI-2005-TR06 (2006).</p> <p>[10] M. T. Farmer, et al., “OECD MCCI-2 Project Final Report”, OECD/MCCI-2010-TR07 (2010).</p> <p>[11] Q. Zhou, et al., “Benchmark of MCCI Model in MAAP5.02 against OECD CCI Experiment Series”, Proceedings of ICAPP 2014, ICAPP-14352, Charlotte, USA, 2014.</p>	<p>[参考文献]</p> <p>[1] 東京電力株式会社, “MAAP コードによる炉心・格納容器の状態の推定,” 平成 24 年 3 月 12 日</p> <p>[2] 東京電力ホールディングス株式会社, “福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第6回進捗報告,” 2022 年 11 月 20 日</p> <p>[3] Electric Power Research Institute, “Modular Accident Analysis Program 5 (MAAP5) Applications Guidance, Desktop Reference for Using MAAP5 Software -Phase 3 Report,” November 2017</p> <p>[4] “IN-VESSEL CORE DEBRIS RETENTION AND COOLABILITY Workshop Proceedings”, 3-6 March 1998, Garching, Germany (NEA/CSNI/R(98)18).</p> <p>[5] D. F. Tsurikov, et al., “Main Results of the MASCA 1 and 2 Projects”, Russian Research Centre “KURCHATOV INSTITUTE”, OECD MASCA Project (2007).</p> <p>[6] M. T. Farmer, et al., “Status of Large Scale MACE Core Coolability Experiments”, Proc. of OECD/CSNI Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, Germany (1999).</p> <p>[7] M. T. Farmer, et al., “OECD MCCI Project Final Report”, OECD/MCCI-2005-TR06 (2006).</p> <p>[8] M. T. Farmer, et al., “OECD MCCI-2 Project Final Report”, OECD/MCCI-2010-TR07 (2010).</p> <p>[9] Q. Zhou, C.Y. Paik, and P.B. McMinn, “Enhancements in MAAP5.03+ MCCI and Corium Coolability Models and Benchmarks against OECD CCI Tests,” NURETH-16, Chicago, IL, August 30-September 4, 2015.</p> <p>[10] Y. Kojima, et al., “MAAP Enhancements for Ascertaining and Analyzing Reactor Core Status in Fukushima Daiichi NPPs”, Proceedings of ICAPP2014, Charlotte, USA, April 6-9, 2014, Paper 14209.</p>	<p>参考文献の相違</p> <p>記載箇所の相違 ・泊の[10]は女川の[4]に相当</p>