

炉心損傷開始時間 (炉心最高温度が 1200℃ に到達した時間)	地震発生後約 4 時間 (3 月 11 日 18 時 50 分頃)
原子炉压力容器破損時間	地震発生後約 11 時間 (3 月 12 日 1 時 50 分頃)

解析結果の詳細について以下に述べる。

原子炉水位は、津波到達以降仮定した IC の停止後、約 3 時間で有効燃料頂部（以下、TAF）へ到達し、その後炉心損傷に至る（図 2-1 参照）。3 月 11 日 21 時 30 分以降、実際に計測された燃料域水位計の指示値は有効燃料底部（以下、BAF）よりも上を推移しているが、添付資料 3 に記載のとおり、格納容器 (D/W) 内が高温になること等で水位計内の水が蒸発し、正確な水位を示していないものと考えられる。この水位は、その後もほぼ同程度の水準を保っていたが、5 月 11 日に 1 号機の燃料域水位計の計装配管内に水張りを行い、校正を実施したところ、水位は燃料域未満であるとの結果が得られている。

原子炉圧力は、解析において仮定した IC の停止後に上昇するが、SRV により 8MPa[abs]近傍で維持される。燃料最高温度が、解析上被覆管の破損を設定した 727℃ (1000K) に達した後、炉内核計装から気相漏えいの発生を仮定しているが、崩壊熱により発生する蒸気量が多いため原子炉圧力はしばらく一定に保たれる。その後水位が BAF 以下となり、蒸気発生量が減少するのに伴い原子炉圧力は緩やかに低下する。地震発生から約 6 時間後には、原子炉压力容器内雰囲気が高温度になることで主蒸気配管のフランジ部の漏えいが発生すると仮定しており、これにより原子炉圧力はさらに低下する。地震発生から約 8 時間後には、炉心支持板の破損により、溶融したペレット等が下部プレナムに移行し、これに伴い発生した蒸気により原子炉圧力は一時的に急峻な上昇を見せるが、その後低下し、ほぼ一定の値を推移する。（図 2-2 参照）。なお、今回の解析では MAAP のモデル上、炉心支持板が破損するまでは溶融燃料は炉心部にとどまり、炉心支持板の破損とともに全燃料が下部プレナムに落ちることになるため、急激な圧力上昇が起きる結果となっているが、実際の原子炉压力容器底部の構造は複雑であり、融点に達した燃料は、例えば運転中に冷却水が通過する経路を通常とは逆向きに降下し、その時点で下部プレナムに流れ落ちることも考えられる。また、燃料の溶融により、隣接する制御棒も溶融することが考えられるため、制御棒を溶かした燃料デブリが、制御棒案内管に落ち込むという経路もあり得る。そのため、燃料が一カ所に滞留し、それが一気に下部プレナムに落下することで、急激な圧力上昇があったとする解析結果は、実現象を反映していない可能性が高い。

格納容器圧力は、原子炉圧力容器からの気相漏えいにより上昇するが、原子炉圧力が低下するのに伴い、圧力抑制室による蒸気凝縮により低下する。地震発生から約 11 時間後には原子炉圧力容器の破損により格納容器圧力は上昇するが、地震発生から約 12 時間後に解析において仮定した格納容器 (D/W) からの漏えいにより低下傾向となり、3 月 12 日のベント操作により急激に減少する (図 2-3 参照)。なお、解析における 3 月 11 日 22 時頃からの格納容器圧力の上昇は溶融した燃料が下部プレナムに落下したことにより原子炉圧力が上昇した影響を受けたものであり、原子炉圧力の上昇と同様、解析結果は必ずしも、実際にこのような圧力上昇があったことを示すものではない。

1 号機の事故時の挙動については、計装電源の喪失により、ほとんどのパラメータが見えていない時間帯に事象が進んでいるため、解析により正確に事象を模擬することは難しく、燃料の過熱・溶融に起因する、原子炉圧力容器からの気相漏えいの時期等については、大きな不確かさがあるものと考えられる。また、特に原子炉圧力容器底部における溶融燃料のふるまいについては、未だ解明されておらず、MAAP コードのモデルも限定的であることから、実現象とは異なる解析結果をもたらしている可能性もあり、今後の検討が必要である。

原子炉内への注水は、仮定した IC の停止後から約 12 時間後に始まるものの、それまでに燃料は崩壊熱により溶融し、下部プレナムへ移行しており、原子炉圧力容器は破損している。(図 2-4、図 2-13 参照)。破損時刻については、平成 23 年 5 月の解析 (地震発生から約 15 時間後) から今回の解析 (地震発生から約 11 時間後) へと 4 時間程度、破損時刻が早まっている。ただし、この破損時刻は原子炉圧力の急激な上昇、原子炉圧力容器からの気相漏えいの条件、原子炉圧力容器底部における溶融燃料のふるまいに関するモデル等に大きく依存しており、評価結果の不確かさが大きい。

水素については、炉心が露出し、燃料被覆管の温度が上昇し始める時期に大量に発生する。平成 23 年 3 月 16 日 12 時の時点で総発生量は約 891kg となった (図 2-7 参照)。

炉心が損傷することにより放出される放射性物質 (以下、FP) については、3 月 16 日 12 時の時点で、希ガスは、仮定した格納容器からの気相漏えいおよびベント操作により約 100% が環境中へ放出されることとなる。ヨウ化セシウムおよび水酸化セシウムについては約 6% の放出であり、その他の核種は概ね 5% 以下の放出という解析結果となっている (図 2-8～図 2-12 参照)。プルトニウムについては PuO_2 として UO_2 グループに含まれるが、解析結果において放出割合は 10^{-7} 以下であった。

なお、MAAP コードを用いた解析では、解析条件設定における不確定性、解析モデルの不確定性があり、結果としての事象進展にも不確定性があることに

留意する必要がある。特に放出される FP 量については、これら不確定性の影響を大きく受けることから、その数値は参考的に扱うべきものとする。

前述のとおり、全交流電源喪失以降については、IC の機能が喪失していたと仮定して解析を実施したが、参考として IC の機能が維持され、①平成 23 年 3 月 11 日 18 時 18 分～18 時 25 分、②平成 23 年 3 月 11 日 21 時 30 分～3 月 12 日 8 時 03 分の両期間運転していたと仮定した解析を実施した。

IC の片系運転の仮定により、原子炉水位の低下は遅くなるが最終的に原子炉圧力容器が破損するという結果に変更はない。(図 2-14 参照)

2.3 1号機の炉心および格納容器の状態の推定

今回の MAAP 解析の結果と温度実測値等のプラント挙動から得られる知見を総合し、炉心および格納容器の状態を次のように推定した。

炉心については、平成 23 年 5 月の解析同様、全交流電源喪失（津波到達）以降、比較的早期に炉心損傷が開始し、原子炉圧力容器が破損するとの解析結果となった。プラント挙動としては、燃料域水位計の水張り・校正の結果から原子炉圧力容器内の水位は燃料域内でないこと、平成 23 年 8 月以降、崩壊熱を注水の顕熱だけで除去するのに必要な量を注水していないにもかかわらず原子炉圧力容器下部の温度が 100℃以下となったこと、平成 23 年 11 月初旬には原子炉圧力容器／格納容器各部の温度が S/C 温度を下回ったこと等から、解析同様、燃料はほぼ全量が下部プレナムに落下し、その大半が格納容器ベDESTAL に落下しているものと考えられる。

格納容器については、解析において漏えいを仮定した、地震発生から約 12 時間後には、雰囲気温度が約 300℃以上となっており、設計温度（138℃）を大幅に超えている。過去の研究において、このような加温条件ではガスケットは損傷に至る可能性があるとの知見があることから、格納容器からの漏えいが事実とすれば、ガスケット損傷は要因の一つとして考えられる。プラント挙動としては、解析で格納容器（D/W）漏えいを仮定した約 1 時間後の 12 日 3 時 45 分に原子炉建屋内で白いもやが見えたこと、さらに 12 日 4 時頃に正門モニタリングカーの線量率が上昇していることやこの頃格納容器圧力の実測値が低下していることから、この時点で格納容器の漏えいが発生している可能性は考えられる。その後注水の継続にかかわらず、格納容器内での水位増加の兆候が観察されないこと、平成 23 年 4 月 7 日からは格納容器に継続して窒素を封入しているにも関わらず、格納容器圧力が単調上昇を示さないこと等から、現在は格納容器気相部、液相部ともに漏えいが発生しているものと考えられる。

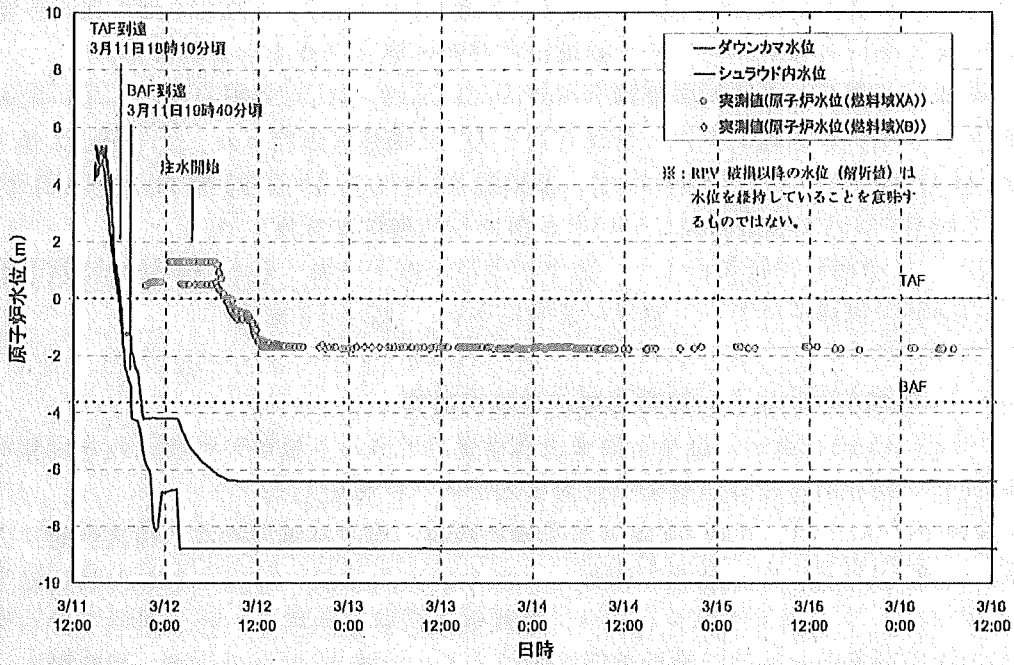


図 2-1 1号機 原子炉水位変化

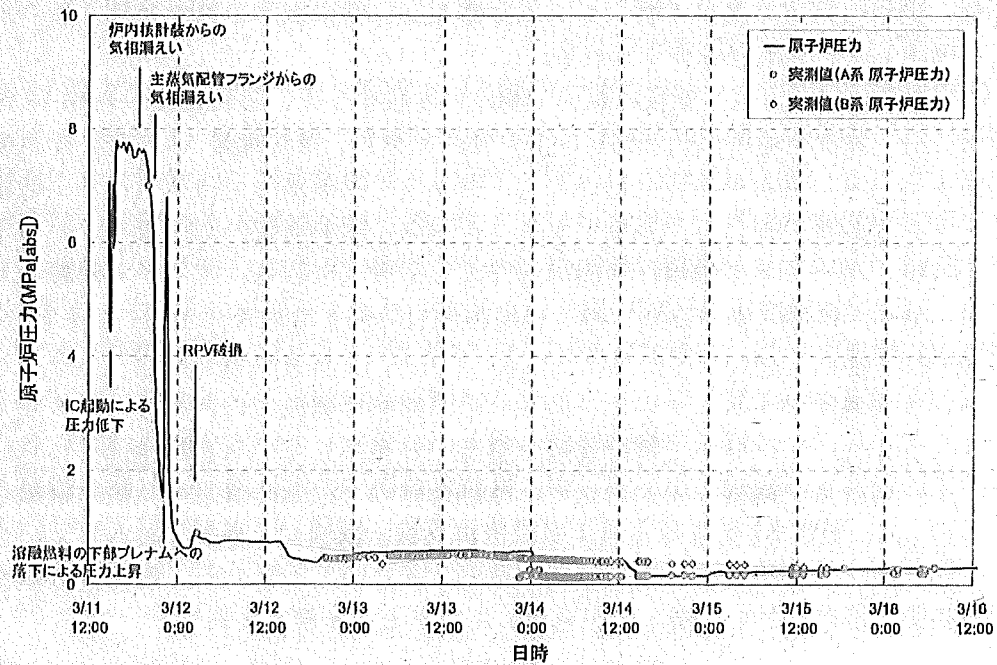


図 2-2 1号機 原子炉压力容器圧力変化

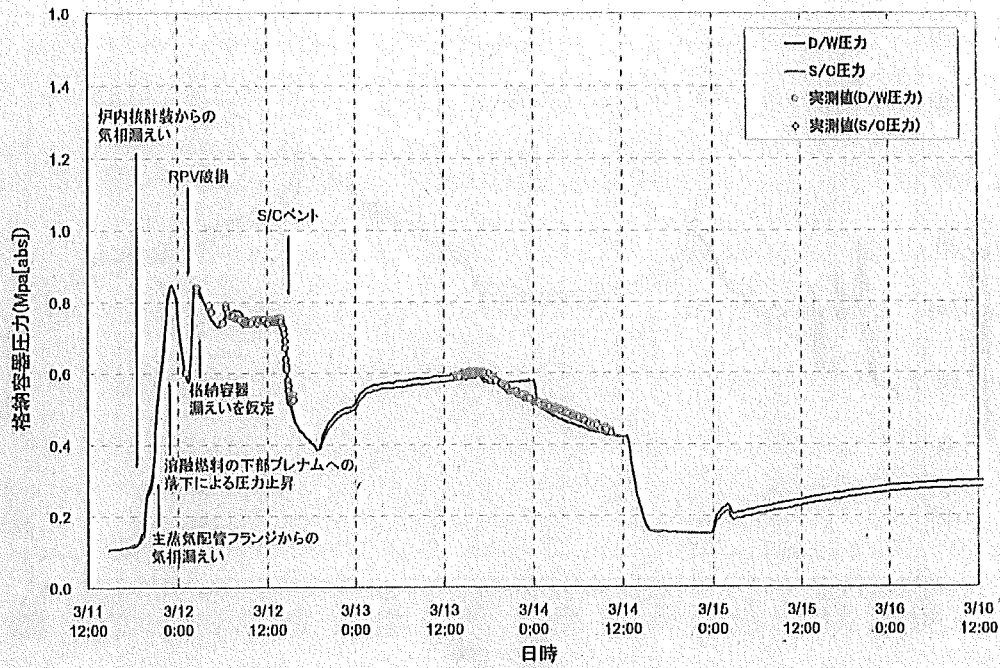


図 2-3 1号機 格納容器圧力変化

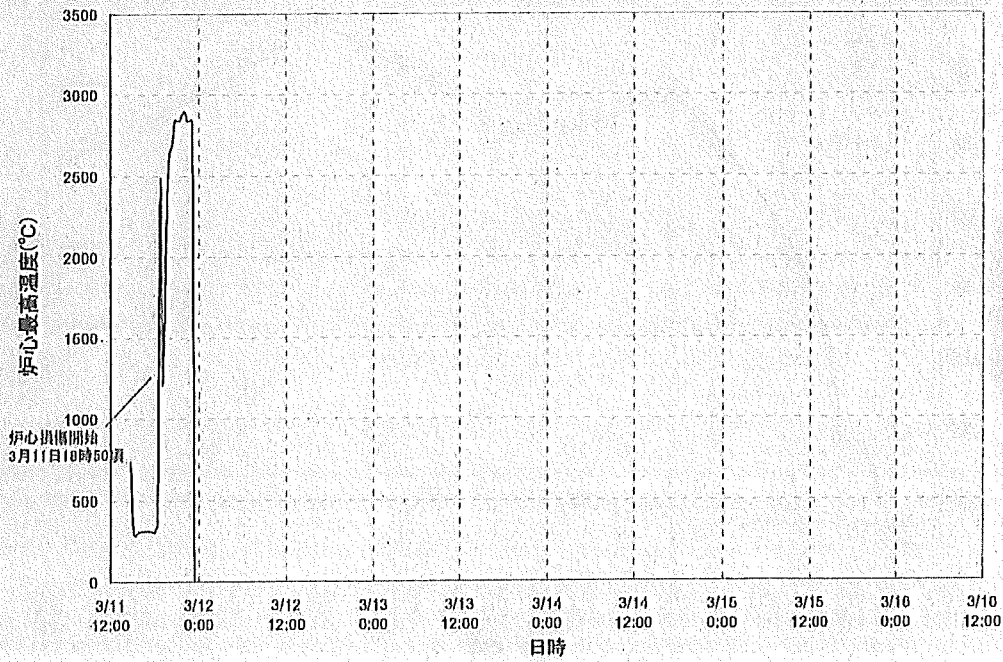


図 2-4 1号機 炉心温度変化

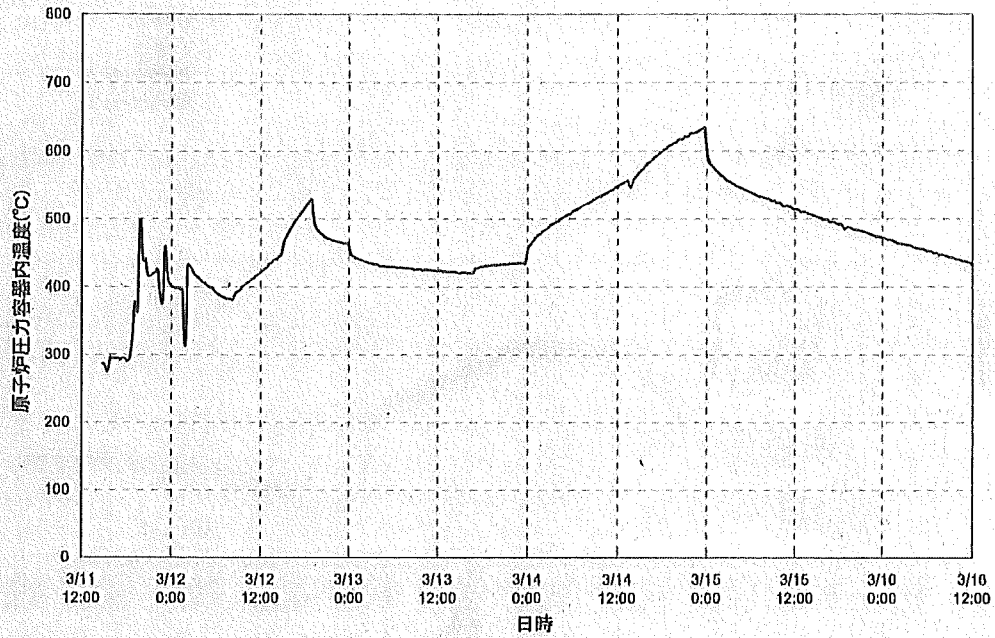


图 2-5 1号機 原子炉压力容器内氦体温度

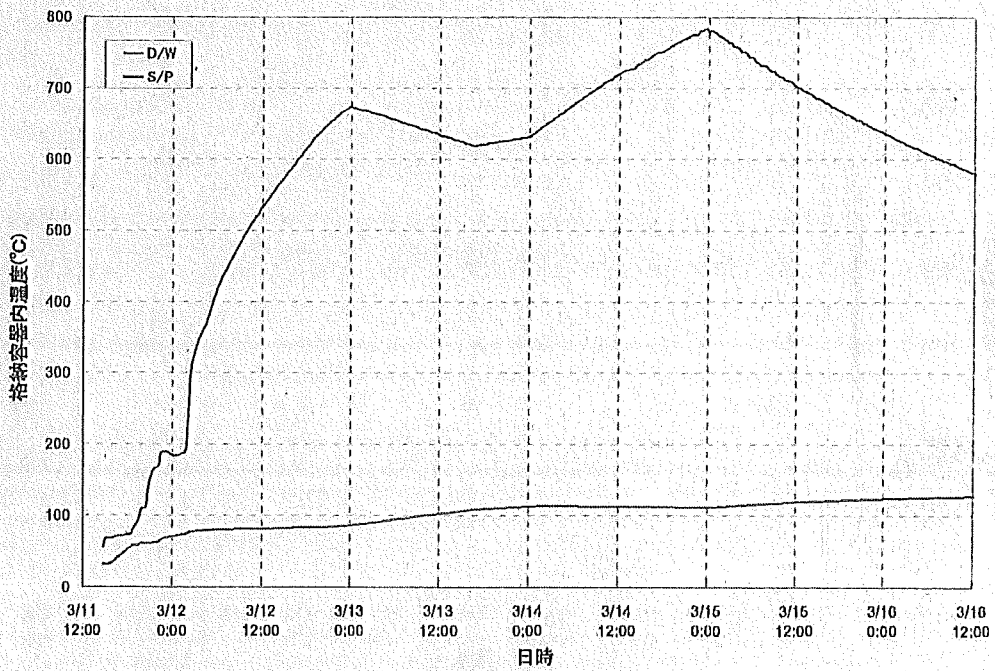


图 2-6 1号機 格納容器温度变化