

原子炉容器健全性評価における機械的エネルギーの取り扱いと
蒸気泡の初期体積の関係について

原子炉容器の構造応答評価

即発臨界超過で発生した熱エネルギーにより高温となった炉心物質が蒸発・膨張しつつ炉心から上方に噴出され、ナトリウムを蒸発させてその蒸気泡を膨張させながら機械的エネルギーに変換される。この機械的エネルギーに対する原子炉容器の構造応答挙動は、SIMMERIVによる機械的エネルギー発生時の解析で得られた蒸気泡の圧力-体積変化を圧力源として原子炉容器の構造応答をAUTODYNにより解析する。図1にAUTODYNによる解析体系、図2に不確かさ影響評価ケースで使用した圧力-体積曲線を示す。

原型炉耐衝撃評価における圧力源

原型炉耐衝撃評価では、AUTODYNの前身である計算コードPISCES-2DELKを用いて原子炉容器の機械的応答解析が行われた¹。機械的エネルギーをPISCES-2DELKに与える方法として、今回の「常陽」の格納容器破損防止措置の有効性評価と同様に圧力-体積曲線を用いる方法(GASBAG法)と、初期の気泡体積と気泡密度を仮定することでこの圧力-体積曲線を通常の状態方程式と同様の圧力-密度関係に置き換える方法(非GASBAG法)の2つの方法の比較が行われている。結論として、非GASBAG法は不確かさの大きな気泡の初期体積と初期密度に依存していてこれらの不確かさの影響が大きく、一方、原子炉容器全体の歪みエネルギーの大小では、明らかにGASBAG法の方が保守的であるが、局所的な最大値では非GASBAG法が数%程度大きくなる場合もあるとされている。

「常陽」格納容器破損防止措置の有効性評価における圧力源

「常陽」の格納容器破損防止措置の有効性評価では、多成分の蒸気成分からなる蒸気泡の膨張の結果として発生する機械的エネルギーとの対応が明確なGASBAG法を採用している。非GASBAG法は、蒸気泡全体でしか取り扱えない圧力-体積関係をあたかも局所的状態量によって表現される通常の状態方程式のように取り扱っている点に大きな飛躍があり、また、不確かさの大きな蒸気泡の初期体積と初期密度の影響が大きいという問題がある。なお、GASBAG法で受け渡される機械的エネルギーは圧力と体積変化分の積分値であることから、蒸気泡の初期体積と初期密度の影響は無い。

¹ 石川 眞、他、「PISCES-2DELKによる原型炉耐衝撃詳細解析 [I]」、PNC TN941 84-16、1984年2月

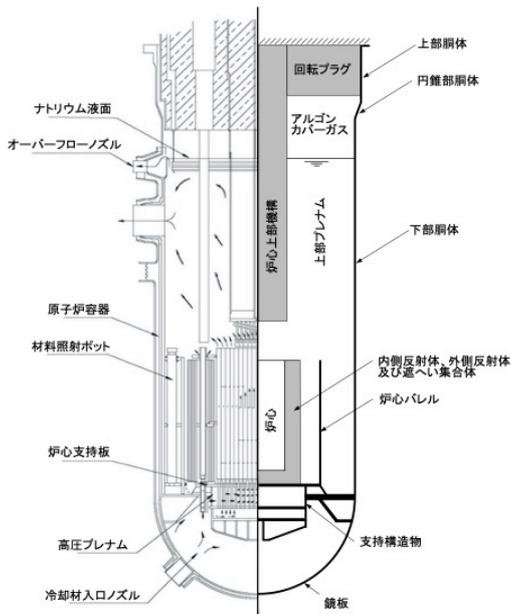
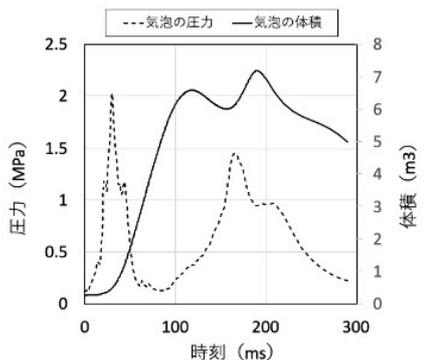


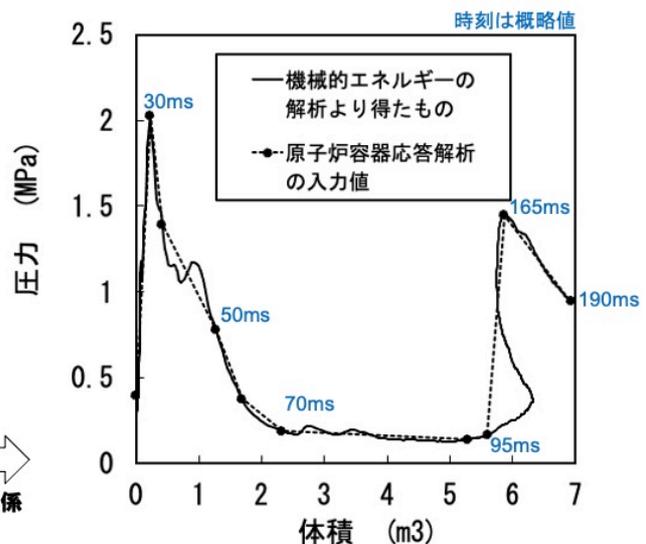
図1 AUTODYNによる原子炉容器の構造応答挙動解析体系

- 原子炉容器全体を2次元円筒座標でモデル化する。原子炉容器全体は上端で支持される構造とし、原子炉容器胴部の変形及び底部の変位を解析する。
- 炉心の膨張は、圧力源の体積（増分）と圧力の関係（P-V曲線）を入力とするガス膨張挙動モデルで模擬する。
- この解析では、遮へいプラグ及び炉心上部機構は剛体としてモデル化し、これら構造物の変形による機械的エネルギーの吸収効果を無視するなど、原子炉容器への負荷が大きくなる条件を用いている。



機械的エネルギー発生挙動の解析結果 (SIMMER-IV)

同一時刻の体積と圧力の関係をP-V曲線としてプロット



原子炉容器応答解析 (AUTODYN) への入力値を体積で積分すると約4.0MJとなり、SIMMER-IVで得られた機械的エネルギー約3.6MJを包絡する、保守的な条件を用いている。

図2 AUTODYNへの機械的エネルギーの入力 (不確かさ影響評価ケース)