

[様式2 (汚染水処理対策委員会に報告し、一般公開となるものです)]

提 案 書	
技術分野	②汚染水処理
提案件名	メルトダウンした核燃料を低融点合金で被覆する
提案者	菅野 等 (防衛大学校 名誉教授)
<p>1. 技術等の概要 (特徴、仕様、性能、保有者など)</p> <p>現在原子炉1~3号機においては、メルトダウンした核燃料を冷却するために400トン/日の冷却水が注入されている。核納容器下部が破損しているために、注入された汚染水は格納容器の外部に漏れ出してしまう。核燃料からは、メルトダウンした際に揮発性のヨウ素131、セシウム137などがかなり多量に外部に飛散したとは言え、大部分は核燃料と共に格納容器内部に存在する。東電は各原子炉の核燃料に存在する核分裂生成物の量の算定を行っていると思われるが、公表はされていない(私が調べた範囲では)様なので、出力100万kWの軽水炉を2年間運転したときに生成する核分裂生成物の量(表1)を参考に考察する。福島原子炉の出力は1号機138万kW、2,3号機は各60万kWと言われている。核分裂生成物の生成量は運転時間に大きく依存し、東電には資料が存在すると思うがメルトダウンした核燃料の形状、冷却水と核燃料がどのような状態で接触しているかも分からないことを考えると、あまり本質的な意味を持たないのでオーダー的には表1に示された量と同じオーダーの量の核分裂生成物がメルトダウンした燃料中に存在すると考えても本質を失うことはないと思われる。</p> <p>格納容器の破損した箇所は高い放射能レベルで、早急に修繕することができない状態が続いている。放射性セシウムやストロンチウムは水溶性で、核燃料の酸化ウランも化学的活性は低くはないので、冷却水と接触すれば容易にセシウムやストロンチウムは冷却水中に溶出してくる。このままの冷却水の注入を継続して行くとすると、次第に汚染水中の放射能量は減少するが、それでも高い放射能の状態は長く継続すると予想される。非常に単純化して、メルトダウンした燃料デブリ中のストロンチウム90の1割が溶出してくると仮定して、汚染水中のストロンチウム90の溶出ベクレル数は<math>1 \times 10^6</math>で一定として、全部が溶出してくるのに要する汚染水の量は<math>\sim 2 \times 10^6</math>トンになる(生成したSr-90の放射能<math>2 \times 10^{17}</math>ベクレルの1割を<math>10^6</math>ベクレルで割れば出てくる。実際には汚染水中のSr-90の量は漸減して行くので、汚染水の量はさらに膨大になる)。</p> <p>汚染水からの放射性セシウム、ストロンチウム、セリウムなどを除去するだけでも膨大な費用がかかるが、残存するトリチウムが高いと海に放出できないとすると貯蔵タンクの数も天文学的数になってしまう。従って、格納容器の故障箇所を早急に修繕する方策を考えるか、核納容器内の燃料デブリと冷却水との接触を遮断して汚染水中の放射能を減らすことを考える必要があるように思われる。東京電力のデータに基づくと、原子炉1~3号機のメルトダウンした核燃料の現状は図1のようになっている。これらの燃料デブリを被覆して冷却水との接触を最小に抑えることができれば、汚染水の処理もかな</p>	

り軽減され、また、原子炉建屋内の放射能レベルを下げて格納容器の漏水故障個所の修繕の時期も早められると考えられる。

ここで提案するのは、低温で液体になる合金 (fusible alloy) で燃料デブリの表面を覆うことである。表2の候補合金の内、1)～4)は融点が高いが、Ga金属は高価なので、大きなメリットが無い限り使う必要は無い。5)、6)と10)も高価である。

私は化学者で原子炉の圧力容器や格納容器の構造や仕組みについて、専門的な知識を持っていないので、現状の福島原子力発電所の原子炉1～3機の圧力容器に、合金の粒子(径:数ミリ～数センチ)を容易に導入できるのか、難しいのか分らないが、径が数ミリから数センチの合金(個体)を必要な量導入できるように、圧力容器に必要な場合には穴を開けて導入用の道管を設置するのが良いと考える。

必要な量の合金を圧力容器に導入して、冷却水の注入を中止すれば燃料デブリの壊変熱で温度が上昇して、合金が融ける。核燃料の酸化ウランの密度は大体  $11 \text{ g/cm}^3$  であるから合金 {7)、8)、9)、or 11)} が融けた場合にデブリが浮くことはないと推定される。もっとも、燃料デブリはペレットの被覆材として使用された Zr 金属などと融解した塊なので平均密度はかなり低くなっていると推定されるが、1号機においては、燃料デブリは格納容器の底部まで融け落ちてセメントと反応して固まっている。また、2号機、3号機においては大部分圧力容器の底部に留まっており、周辺の細管などと半溶融して固まった状態にある。したがって、十分な量の低融点合金を入れて融解すれば、低融点合金は燃料デブリの表面や上部を被覆する状態になると推定される。合金が融けてデブリを被覆したら冷却水を注入して温度を下げれば、合金が固化する。完全に被覆できるかどうかは分らないが、十分な量の合金を入れて融かせばかなりのデブリは被覆されて、冷却水との直接接触は大きく制限される状態に持って行くことができると考えられる(図2)。合金は金属で熱伝導率は大きいので、核燃料デブリの冷却に問題が起きるとは考えられない。したがって、格納容器から漏出する汚染水中の放射能の強さを大きく減少させることができ、廃炉作業の進展に寄与できると考えられる。

上記で述べた、個体合金(粒状)を圧力容器内に注入できる道管を設置(可能かどうかはわからないが、努力する価値はあると指摘したい)は、漏出する汚染水の量を減らすことにもすぐにも使える。現在、燃料デブリを冷却するために毎日400トンの冷却水を格納容器に注入している。今注入している冷却水は、常温の冷却水と思われるが、一つは注入する冷却水を冷凍機などを使用して水の融点の数度上(例えば $\sim 2^\circ\text{C}$ )にして注入すれば、注入する量を減らせるはずである(結果として漏出する汚染水の量は減らせる)。導管の設置で、粒状あるいは砂状の氷を圧力容器内に注入できるようになれば、必要な冷却水の量を大幅に減らせる可能性がある。 $0^\circ\text{C}$ の氷1gが融けて $0^\circ\text{C}$ の水になるのに80カロリー必要である。水ならば $0^\circ\text{C}$ から $80^\circ\text{C}$ に上昇させるのに必要な熱量である。1gの水を $0^\circ\text{C}$ から $20^\circ\text{C}$ にするのに20カロリーが必要であるから、1gの氷は、常温( $20^\circ\text{C}$ とする)の水と比較して、100カロリー分の冷却能を余分に持っていることになる。

1. 備考（以下の点など、可能な範囲でご記入いただけますようお願いいたします）

・開発・実用化の状況（国内外の現場や他産業での実績例、実用化見込み時期を含む）  
必要な合金は、お金さえ出せばただちに購入できると考えられる。Ga あるいは In を使用する場合には、これらの金属を必要量だけ確保できるかはわからない。Bi, Sn, Pb の確保は極めて簡単であると思われる。

・開発・実用化に向けた課題・留意点

圧力容器に粒状の合金を注入できる状態にあるか、また、導管が無い場合に圧力容器に工事で設置できるかが一番の問題であるように思われる。

・その他（特許等を保有している場合の参照情報等）