

## 福島第一原子力発電所の汚染水の処理について

1号機から3号機までに注入された冷却水は、压力容器、格納容器、原子炉建屋からタービン建屋地階まで広範にわたる領域に滞留する。この滞留水（以下、汚染水と呼ぶ）から放射性核分裂生成物などの不純物を除去し、再び原子炉に注水するという大きな循環系での冷却が行なわれている。タービン建屋地階には地下水が流れ込むため、汚染水がオーバーフローしないように、増加分を余剰水タンク群に貯蔵しているが、余剰水は既に50万トンに近づいている。また、汚染水の一部が地下水へ漏出する事象が顕在化している。汚染水への地下水の混入を抑制し、放射性核分裂生成物の系外への漏出を抑制するためには、格納容器からの漏洩箇所を同定、封水して、原子炉容器から格納容器までの小さな循環系で冷却することが急がれるが、まだ、漏えい箇所は同定されていない。タービン建屋地階での汚染水と地下水の接触を抑制するため、地下水のバイパス工事および建屋領域全体の封水対策などが準備されている。これらが成功し、汚染水の格納容器系への閉じ込めと漏洩対策が完了しても、既にサイトに蓄積されている大量の汚染余剰水の処理・処分が問題として残る。

廃液処理設備でのCs除去の結果、汚染水中の $^{137}\text{Cs}$ 放射能は事故後約1年半にわたり低下したが、原子炉内での溶出により、現在はほぼ一定値に落ち着いている（図1a）。トリチウムは、廃液処理設備では除去されないが、地下水による希釈効果で濃度低下傾向が見られたが、原子炉内での溶出の影響で、事故後約1年半ではほぼ一定値となった（図1b）。

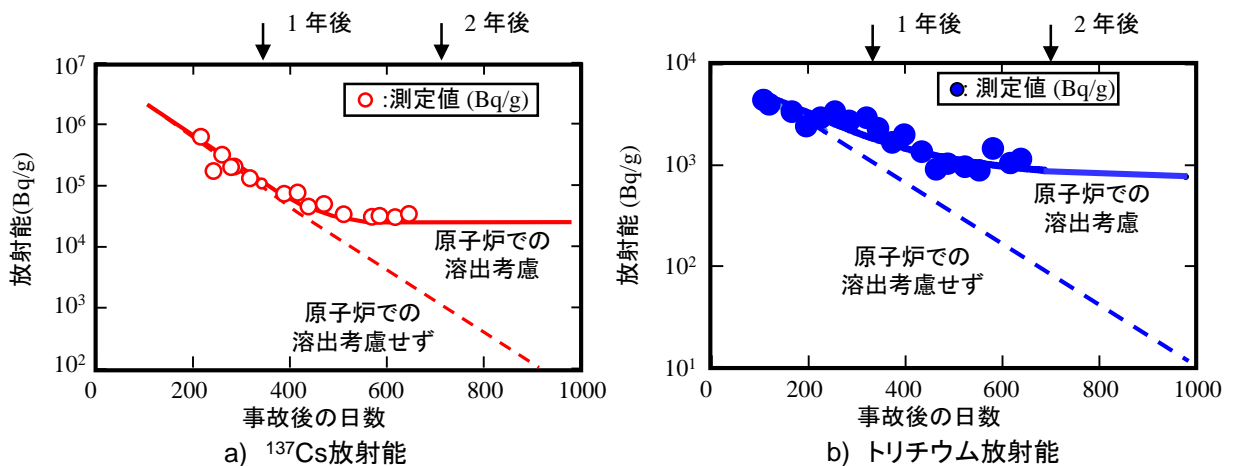


図1 循環汚染水中の $^{137}\text{Cs}$ およびトリチウム放射能

2013年に入り、セシウムを含む多くの放射性核種を除去可能な多核種除去設備 **ALPS** が試運転を開始し、汚染余剰水の放射性核種の一層の低減が期待されている。平均除染係数（入口濃度/出口濃度）は約 600,000 で、現状の処理装置の入口濃度に対して、処理水の放射能を告示濃度限界以下に低減可能である。

トリチウムは、大気中で宇宙線の中性子と窒素との核反応ほかで生成される天然放射性核種で、環境中のバックグラウンド (BG) レベルは高々0.01 Bq/g である。半減期は 12.3 年であるが、水素

の同位体であるため生体に取り込まれても代謝により容易に体外に排出され、生物学的半減期は12日と短い(表1)。沸騰水型原子炉(BWR)では、トリチウムは主としてウランの核分裂のうち三体核分裂によって生成される。三体核分裂は、核分裂のうちの約0.01%である。トリチウム生成量は原子炉内の燃料の燃焼度からウランの全核分裂数を計算し、定量化することができる。現状、循環している汚染水と余剰汚染水に含まれるトリチウムの総量は原子炉での全生成量の1/3程度であり、今後長期にわたり、現状と同程度のトリチウム溶出が続く可能性がある。

表1 トリチウムの特性

半減期:	12.3年
生物学的半減期:	12日 生態系での蓄積効果小
代表的な生成反応	$^{14}\text{N}(n, ^3\text{H})^{12}\text{C}$
地球上での生成量	1 E Bq/年 ( $10^{18}$ Bq/年)
環境中のBG:	約0.01 Bq/g

トリチウムは、水素の同位体であるため、共沈法やイオン交換法では除去できず、同位体分離法による除去が必要となる。多核種除去設備ALPSの稼働により、トリチウムを除く放射性核種については告示濃度限度以下にまで放射能除去が可能との見通しが得られているが、トリチウムの除去のための同位体分離法は、工学的規模では除染係数10程度の除去しか期待できず、採用が難しい。現状考える汚染水中のトリチウム対応として検討した結果を表2にまとめる。

表2 トリチウム対応策

対応策	概要	課題	技術的 確実性	環境 リスク
1. サイト内貯蔵	放出せずに保管	漏えい、地下水汚染のポテンシャル大	高	大
2. トリチウム除去と濃縮	トリチウム濃縮装置の適用	工学的には困難		
2.1 除去水の放出	原理的には、放出基準濃度以下までの低減可能。現実には困難。	[現実的な除染係数: 10] 希釈との併用が必要。	低	小
2.2 高濃縮減容保管	大半のトリチウムを濃縮・減容 残りを希釈放出	高濃縮トリチウム水保管による 環境リスク	低	大
3. 希釈放出 <sup>*1</sup>	トリチウム以外の核種は除去			
3.1 海洋放出	トリチウムは海水中に希釈放出	旧保安規定の総量規制に抵触 <sup>1)</sup>	高	小
3.2 気化放出	蒸発させ、気中放出(TMI方式)	雨水に含まれて、放出点近傍で検出 される可能性	高	中

\*1 保安規定との整合性 旧福島第1原子力発電所保安規定：  
放出基準濃度； 20 Bq/g [法的には60 Bq/g]  
年間総放出量； 22 TBq/年

希釈放出の場合、放流後の周辺環境で自然界のBGに近い低濃度となるように放流可能である。しかし、現在の高度な放射能測定技術をもってすれば、自然界のBGレベルでも十分検出可能であるため、社会受容性や風評被害の防止を考えると、「海中放出においては、自然界のBGレベルに近い低レベルになるように放出した場合、生物等による濃縮はなく、しかも大洋中での速やかな希釈効果が期待できる。」ということ、地元ほかに対して、事前に、影響を十分に説明することが必須となる。

以上のように、福島第一原子力発電所内に保管されている余剰汚染水については、多核種除去装置ALPSにより、トリチウム以外の放射性核種を取り除いた後に、自然界のBGレベルに近い濃度になるように希釈して、海中へ放出することが、他の同位体分離などによる浄化処理を採用することに比べて現実的である。また、この方がサイトに保管した場合の偶発的な漏水等に伴う放射線被ばくや環境汚染のリスクも低減できるものとする。 [水化学部会、核融合工学部会]