

## PEM 方式を適用した TRU 等廃棄物の人工バリア設計（その 1）

原子力発電環境整備機構 正会員 ○鈴木 寛，山本 陽一，小川裕輔，後藤 考裕，高橋 拓麻

### 1. はじめに

原子力発電環境整備機構（以下，NUMO）では，TRU 等廃棄物の設計オプションの整備を目的として，ガラス固化体の処分概念にも適用した PEM 方式〔Prefabricated Engineered Barrier System Module：地上施設で廃棄体を人工バリアと一体化したモジュールを地下施設に搬送し，定置する技術（以下，PEM）〕を TRU 等廃棄物の処分に適用するための技術開発（以下，TRU-PEM）を進めている．本シリーズ講演では<sup>1), 2)</sup>，TRU-PEM を対象とした，処分容器の腐食膨張に伴う人工バリアの応力解析（以下，腐食膨張解析）および再冠水過程の熱・流体連成解析を用いて処分場閉鎖後の再冠水過程を評価した結果について報告する．本稿では，TRU-PEM の処分概念の概要として，廃棄体パッケージ容器，集積配置の方法と処分坑道の形状について報告する．

### 2. 廃棄体パッケージ容器及び TRU-PEM の構造

包括的技術報告書<sup>3)</sup>に記述のある角型の廃棄体パッケージ容器（以下，角型容器），及び耐圧性と製作性の向上の観点から新規に検討を進めている円筒型の廃棄体パッケージ容器（以下，円筒型容器）を対象とした．ドラム缶用の円筒型容器を図-1 に例示する．この例で想定した荷重は，設置深度に応じた静水圧（例えば，1,000 m の設置深度に対しては約 10 MPa）と緩衝材応力（圧密反力）の増加を許容する目安値（本検討では 5 MPa に設定）の和として設定したものである．また，平均腐食深さは全面腐食を想定し，少なくとも数百年の耐食性を有するよう設定した．

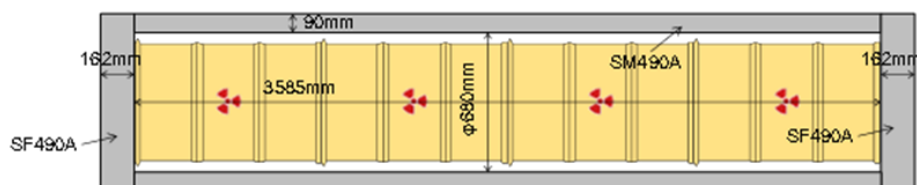


図-1 ドラム缶用円筒形廃棄体パッケージ容器（15 MPa までの荷重に耐えられるもの）

角型容器用の PEM の構造を図-2 に示す．廃棄体パッケージを 1 体収容するものであり，廃棄体パッケージの周囲に 200 mm の厚さで緩衝材を設置するものとした．円筒型容器用の PEM の構造を図-3 に示す．円筒型容器を 2 体収容するものである．なお，PEM 容器は既製の鋼製容器を参考に設定した．検討においては PEM 容器の厚さは 10～50 mm の範囲とした．

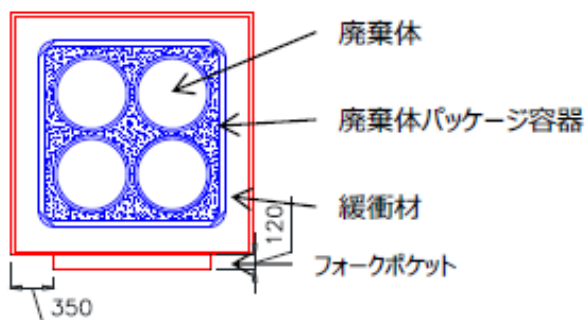


図-2 角型廃棄体パッケージ容器用 PEM のイメージ

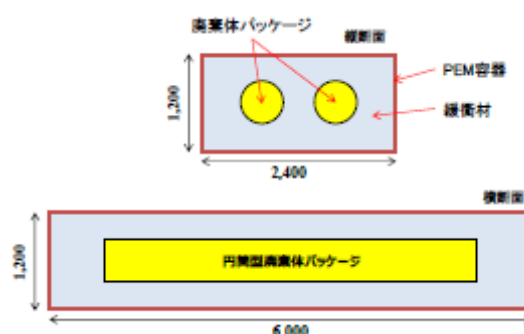


図-3 円筒型処分容器用 TRU-PEM のイメージ

### 3. 処分坑道の形状と TRU-PEM の集積配置

包括的技術報告書<sup>3)</sup>で示した検討対象母岩のうち，岩盤の一軸圧縮強さの点から硬岩である深成岩類及び先新第三紀堆積岩類及び軟岩である新第三紀堆積岩類に分類し，処分坑道の形状を検討した．処分坑道の形状を検討する際には，集積方法に加え，定置装置の大きさも考慮して，建築限界を設定し，それを上回るように坑道の形状と大きさを検討する．図-4 に硬岩の幌型坑道を対象に検討した例を示す．角型容器用 TRU-PEM の場

キーワード 放射性廃棄物処分，TRU-PEM，腐食膨張，熱・流体連成解析

連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番 23 号 三田 NN ビル 2 階 原子力発電環境整備機構

合には、PEM を横 3 列で 2 段積とし、3 段目は 2 列とすることで、幌型坑道断面に効率的に収納できるように集積方法を検討した。この場合の装置は下から TRU-PEM を支持するフォークリフトを想定し、既製品の仕様を参考に建築限界を設定した。円筒型容器用 TRU-PEM の場合には、横長の直方体となるため、横は 1 列として、4 段積みとした。最下段には、PEM 容器に埋戻し材を入れたものを定置し、インバートコンクリートと緩衝材の化学的相互作用を抑制する対策もとった。定置装置は、TRU-PEM の構造と重量を考慮して、スプレッド方式で TRU-PEM の上部から把持するものを想定した。また、回収可能性を維持するために、回収装置が走行できるように TRU-PEM の両側の処分坑道壁面までの距離を 1 m に設定した。建築限界の形状が矩形となったため、坑道の内空断面も矩形形状となった。なお、処分坑道の掘削断面は岩盤の状況に応じて天井部をアーチ構造とするなどの対応をとることも考えられるが、図-5 には矩形のケースを例示した。シリーズ講演<sup>2)</sup>の解析例では、処分坑道の設置深度を地表面から深度 500m に設定した。

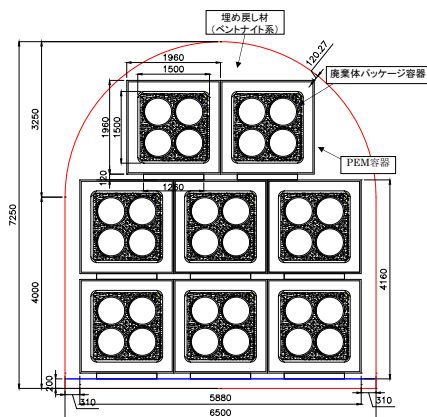


図-4 角型容器用 TRU-PEM 集積状況図

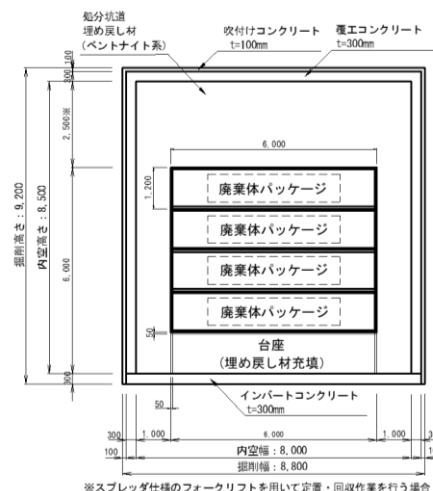


図-5 円筒型容器用 TRU-PEM 集積状況図

#### 4. 緩衝材の設計における課題の設定

角型容器あるいは円筒型容器の腐食に伴い、腐食生成物が容器表面に層状に形成されることで腐食膨張が発生する。容器が腐食膨張すると緩衝材が圧密されるため、時間とともに圧密が進むほど、高い反力が発生する（以下、圧密反力）。圧密反力とそのほかの外荷重（例えば、静水圧）の和が、廃棄体パッケージ容器の設計時の設定値を超えると構造健全性が失われ、廃棄体パッケージ容器は閉じ込め性を失う。このように、TRU-PEM の廃棄体パッケージと PEM 容器が腐食膨張した際に廃棄体パッケージに生じる圧密反力を算定するために、汎用有限要素法解析コードを用いて腐食膨張解析を実施した。また、処分場閉鎖後の人工バリアとその周辺の環境条件の変化を調べるため、TRU-PEM を集積配置し、処分坑道壁面との空間をベントナイト系埋戻し材で埋め戻した状態を対象に、熱・流体連成解析を実施し、処分坑道内の温度の分布、及び再冠水に要する時間の推定を試みた。これらの検討の詳細については、以降のシリーズ講演で説明する。

## 5. おわりに

TRU 等廃棄物の処分概念の設計オプションとして、PEM 方式を適用した処分概念の検討を行った。TRU-PEM は、廃棄体、廃棄体パッケージ容器、緩衝材及び PEM 容器で構成されており、集積配置できるよう直方体形状の PEM 容器の適用を検討した。このような形状であるため、緩衝材の圧密反力、再冠水の過程は、非線形現象となり、理論解の導出が困難であるため、数値解析により緩衝材の設計を実施し、その結果をシリーズ講演にて報告する。

**参考文献** 1) 佐藤, 他: PEM 方式を適用した TRU 等廃棄物の人工バリア設計 (その 2), 2) 森岩, 他: PEM 方式を適用した TRU 等廃棄物の人工バリア設計 (その 3), 3) 原子力発電環境開発機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—, NUMO-TR-20-03, 2021.