

ニューマチックケーソンを活用した原子力発電所使用済燃料の中間貯蔵施設の提案

オリエンタル白石（株） 正会員 ○本間美湖，正会員 阿部慎太郎，正会員 鈴木忠勝
早稲田大学 正会員 小峯秀雄，フェロー会員 後藤茂

1. 目的

日本の原子力発電所の原子炉の基数は、廃炉 24 基，建設中 3 基を含めて 60 基である。日本の原子力政策では、使用済燃料は再処理工場でウランとプルトニウムを回収し、燃料工場で MOX 燃料に加工し、原子力発電所で再利用する方針である。しかし、六ヶ所再処理工場の建設は、当初計画から 20 年以上遅れ、施設の稼働は 2021 年以降の見込みであり、安定操業にはさらに期間を要することも懸念される。そのため、電力各社は使用済燃料を中間貯蔵施設で長期間貯蔵する計画を余儀なくされている。電力各社は原子力発電所の敷地内外における貯蔵施設を検討中であるが、将来にわたる使用済燃料の増加を考慮すると、発電所内の限られた敷地のみで対応するのは困難である。一方、敷地外の施設の建設は、立地の選定が難しい状況である。この問題の解決のためには、敷地内の地下空間の利用が方策の一つと考えられる。本論文では、ニューマチックケーソンを活用した使用済燃料の地下式中間貯蔵施設を提案する。

2. 使用済燃料の中間貯蔵対策の現状

(1) 中間貯蔵対策の現状：2015 年 10 月に提示された国の「使用済み燃料対策に関するアクションプラン」を受けて、同年 11 月に電気事業連合会が「使用済燃料対策推進計画」(2018 年 11 月に一部改定)を公表した。これにより、2020 年頃に 4000 tU 程度、2030 年頃に 2000 tU 程度、計 6000 tU 程度の使用済燃料対策を目指すこととなった。2020 年 7 月の電気事業連合会の発表¹⁾によると、約 4600 tU 相当の使用済燃料貯蔵容量拡大について計画の進捗がみられるものの、運用開始には至っていない。東京電力 HD と日本原子力発電は、青森県むつ市のリサイクル燃料備蓄センターに使用済燃料を貯蔵する計画であるが、他の電力各社は、将来の使用済燃料対策として敷地内外における貯蔵施設を検討中である。

(2) 貯蔵方法：原子炉から取り出された使用済燃料は、発熱量と放射線量が高いため、原子炉建屋内の使用済燃料プールで一定期間冷却する。その後、原子力発電所の敷地内外の中間貯蔵施設において、湿式貯蔵または乾式貯蔵により一時的に保管される。湿式貯蔵は、燃料プールで水を循環させながら使用済燃料を冷却して保管する方法である。一方、乾式貯蔵は、湿式貯蔵により十分に冷えた使用済燃料を乾式キャスクという金属製の容器に収納し、空気の自然対流によって冷却する方法である。

以下に、乾式貯蔵と湿式貯蔵の両者について、貯蔵容量 1000 tU 相当の地下式中間貯蔵施設をニューマチックケーソン工法により築造する案を検討する。

3. ニューマチックケーソンを活用した使用済燃料の中間貯蔵施設

(1) 地下貯蔵施設の優位性：原子力発電所の敷地内に設置する中間貯蔵施設は、使用済燃料の確実な管理が可能な施設とする必要がある。ここで提案する地下貯蔵施設は、地下空間を利用することで原子力発電所の用地を有効に活用することができる。また、地下構造物は耐震性能が高く、津波、竜巻といった自然災害等の影響を受けにくいいため、安定した環境での貯蔵が可能である等の優位性がある。さらに、周辺地盤が放射線を遮断する効果があるため、地下貯蔵施設は使用済燃料の貯蔵に適していると考えられる。

(2) 地下貯蔵施設の提案：ニューマチックケーソン工法は、施工中の排水が不要であること、躯体構築と掘削を同時に進められるため工期が早いこと、あらゆる地盤を掘削できること（硬質の岩では先行削孔併用）、さらに、掘削機械の地上遠隔操作が可能であり、原子力発電所内においてより安全に作業を進められる等の優位性がある。以上のことから本論文では、ニューマチックケーソンによる地下貯蔵施設を提案する。

キーワード ニューマチックケーソン，原子力発電所，使用済燃料，中間貯蔵

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 5-6-52 オリエンタル白石(株) TEL 03-6220-0656

貯蔵方式は各発電所の状況に応じることとし、湿式貯蔵と乾式貯蔵の地下貯蔵施設の規模を算定した。使用済燃料 1000 tU の貯蔵に必要な湿式貯蔵の燃料ラック基数と乾式貯蔵のキャスク基数は、式-1 により表-1 のとおり算出できる。

$$N = W / (w \times n) \quad \text{式-1}$$

1) 湿式貯蔵：図-1、図-2 に、ケーソンによる湿式貯蔵施設を示す。燃料ラックの寸法は、210 mm×210 mm×4200 mm の燃料集合体どうしの純間隔を 70 mm とし³⁾、49 本の燃料集合体を格納できるものとした。燃料ラックは鋼製とし、内部に超重泥水を満たし鋼製蓋で密封することで放射線を遮蔽する構造としている。ケーソンの側壁の外側には鋼板を設置し、鋼板とコンクリートの間に超重泥水を充填することで、遮水性能と放射線遮蔽性能の向上を図る。各種計測やメンテナンスのため、貯蔵室の周囲と底部には監査路を設ける。本ケーソンにより 45 基の燃料ラック、すなわち 1025 tU を貯蔵できる。

2) 乾式貯蔵：図-3 に、ケーソンによる乾式貯蔵施設を示す。乾式キャスクの寸法は直径 2.5 m、高さ 5.4 m で、使用済燃料集合体数 69 本、燃料を含めた重量は約 119 t である⁴⁾。乾式キャスクはクレーンで吊り降ろし、順次、上段にプレキャスト床版を設置していく。本ケーソンにより 88 基の乾式キャスク、すなわち 1062 tU を貯蔵できる。

図-2 および図-3 の規模のケーソンの工費の比は 1 : 1.6、工期は、それぞれ 19 箇月、26 箇月となる。

4. おわりに

使用済燃料の中間貯蔵対策は喫緊の課題である。今後は、使用済燃料の放熱対策として、地下式中間貯蔵施設内の冷却性能等の検討を進める考えである。

参考文献

- 1) 電気事業連合会：使用済燃料貯蔵対策への対応状況について、(2021/3/1 閲覧)
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/shiyozumi_nenryo/pdf/005_06_00.pdf, 2020年7月2日
- 2) 柴田雅博：使用済燃料の直接処分に関する研究開発の現状と課題，日本原子力研究開発機構，2014年8月7日
- 3) 玄海原子力発電所の使用済燃料貯蔵対策についての原子炉設置変更許可に係る申請及び補正の概要，(2021/3/1 閲覧)，
<http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0177/6711/119kit33.pdf>
- 4) 原子力規制庁：原子力発電所敷地内輸送・貯蔵兼用キャスク貯蔵の基準の見直しについて，(2021/3/1 閲覧)，
<https://www.nsr.go.jp/data/000187165.pdf>, 平成29年4月26日，

表-1 必要燃料ラック [キャスク] 基数の算出

記号	内容	単位	湿式燃料ラック (加圧水型炉)	乾式キャスク (沸騰水型炉)
w	燃料集合体1体のウラン重量 ²⁾	tU	0.465	0.175
n	燃料ラック[キャスク]1基に格納する使用済燃料集合体	体	49	69
W	格納する使用済燃料重量	tU	1000	1000
N	必要燃料ラック[キャスク]基数	基	44	83

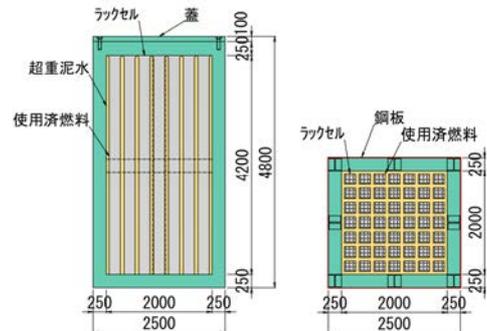


図-1 使用済燃料ラック

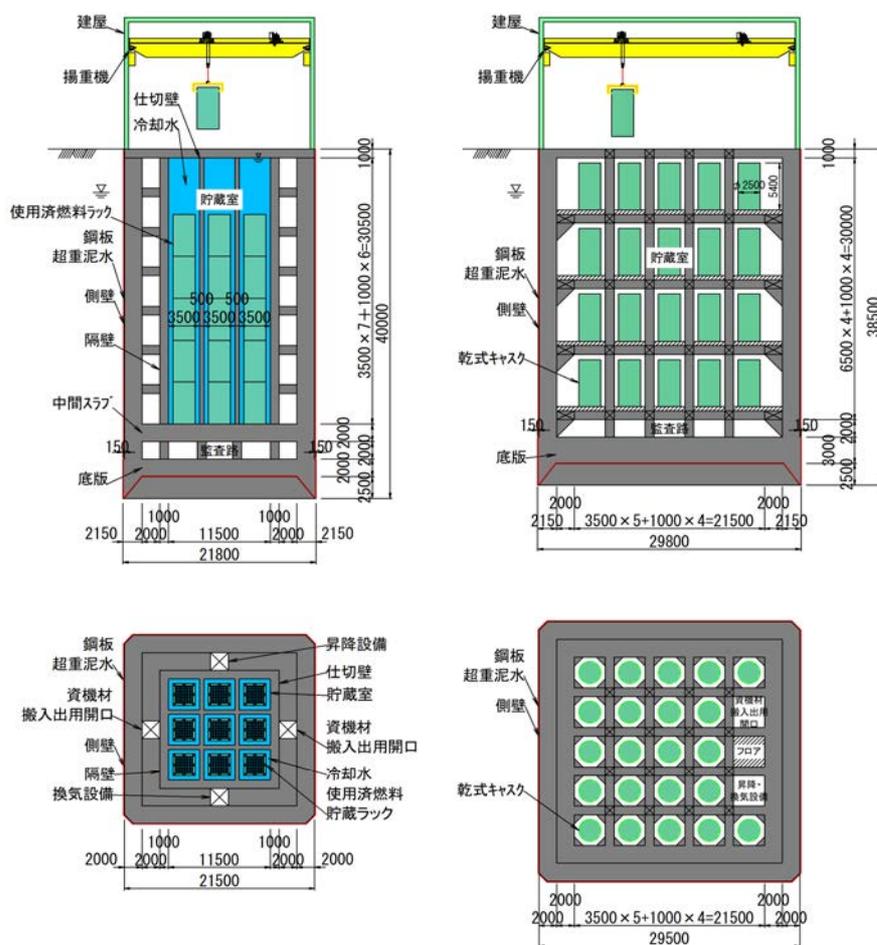


図-2 ケーソンによる湿式貯蔵施設 図-3 ケーソンによる乾式貯蔵施設