

使用済燃料輸送・貯蔵キャスクの安全性

原子力グループ 西田直樹

原子力発電所から発生する使用済燃料を貯蔵・輸送するためには、キャスクと呼ばれる容器が用いられている。そのメーカーであるHoltec社は、同社製のHI-STAR180と呼ばれる加圧水型軽水炉(PWR)向け燃料の輸送キャスクに対して、600マイル/時という高速でミサイルを衝突させる実験に成功したと発表した¹。これは、スイスの規制当局が航空機がキャスクに衝突した場合の耐性を評価するように求めたことに答えるために行われたものであり、実験は陸軍のAberdeen実験場の一角で行われたというが、数値計算によらず、実物のキャスク等に対してこのような衝突実験を行うことは非常に珍しいケースであるといえよう。本稿では、キャスクの安全性に関する要求等を概観した上で、使用済燃料の貯蔵形態に関して考えたい。

原子力発電所で使用される燃料は、炉内で燃焼された後、使用済燃料プールに保管されているが、その輸送に当たっては、輸送専用容器であるキャスクに移され、車両や船舶等により輸送されることになる。かつて、日本やドイツがフランスに使用済燃料の再処理を委託していた際のように、使用済燃料の輸送用キャスクは、国際輸送に用いられることもあり、輸送容器の安全性に関しては、IAEAの基準等により細かく定められている。使用済燃料を輸送するためのキャスクは、「B型輸送物」に分類されているが、その安全性を確保するため、B型輸送物の輸送容器には以下のような試験に耐えることが要求されている。

- ✓ 一般の試験条件(平常の輸送条件に耐える能力を実証するための試験)
 - 環境試験(38°Cの環境に30分)
 - 水の吹き付け試験(1時間に50mmの雨量)
 - 自由落下試験(0.3mからの落下)
 - 圧縮試験(輸送物自重の5倍で24時間)
 - 貫通試験(6kgの丸棒を6mの高さから落下)
- ✓ 特別の試験条件(事故時の輸送条件に耐える能力を実施するための試験)
 - 落下試験I(9mの高さから落下)
 - 落下試験II(1mの高さから丸棒上に落下)
 - 耐火試験(800°Cで30分間)
 - 浸漬試験(15mの水中に8時間)
 - 浸漬試験(200mの水中に1時間)

これらの試験は、輸送中に起こりえる不慮の事故時においても、キャスクの健全性が維持できることを求めるために行われるものであり、国内外の使用済燃料等の輸送用キャスクはこれらの試験に合格している。

一方、日本がフランスやイギリスに再処理を委託していた場合のように、使用済燃料が公海上を長期間にわたって輸送される場合もある。このような場合、テロリスト等により輸送物が攻撃を受け、輸送物が盗取されるおそれがあることから、公海上を輸送する場合、輸送ルートを非公開とすることや、武装した船舶2隻以上がペアとなって輸送する等の対策が従来から行われている。しかし、米国での9.11テロ以降、航空機等により原子力発電所等が破壊され、周辺地域に重大な損害を与える危険性が大きく認知された。今回Holtec社が実施したキャスクに対する航空機衝突耐性の確認についても、テロ対策の観点からスイス原子力規制当局が耐性の証明を求めたために実施されたものである。原子力発電所に対するテロ対策については、航空機衝突耐性を持たせるために二重格納容器を備える等、公開されている情報だけでも多くの対策が実施されているが、Holtec社の試験は、核燃料の輸送・貯蔵等に当たっても、テロ対策の観点から重要視されてきている一つの証左である。

さて、現在、使用済燃料の多くは、発電所内の使用済燃料プールに貯蔵されているが、福島第一原発事故時に4号

¹ Holtec Nuclear Waste Cask Survives Direct Hit By Missile in Test, Nuclear Street, 2013/9/5

機の使用済燃料プールが枯渇しているのではないかという疑念があったことや、建屋壁が水素爆発により崩壊し、長期間にわたってプールが露出した状態にあったこともあり、プールでの貯蔵は安全性・セキュリティの面で物理的に脆弱であり、キャスクを用いた乾式貯蔵に移行すべきであるとする意見が散見される。今回 Holtec 社がおこなった試験は、金属製の輸送用キャスクを対象としたものであるが、金属製の貯蔵キャスクは通常輸送・貯蔵兼用であり、そのようなキャスクについても今回の試験と同様な結果が得られると考えられることから、航空機等を用いた外部からの破壊活動に対する貯蔵用キャスクの耐性は非常に高いものであると言えよう。また、キャスクは空冷による静的な除熱としているため、冷却ファンや冷却水ポンプ等の動的な冷却装置を必要としないことも、安全上有利な点として挙げられよう。このことから、金属キャスクによる乾式貯蔵がプールでの湿式貯蔵に代わる手段として近年急速に着目を集めている。

それでは、現在湿式のプールで貯蔵されている燃料は、速やかに乾式貯蔵に移行すべきであろうか。確かにプール貯蔵では燃料の貯蔵密度が高く、冷却には動的な機器を用いているが、冷却手段が失われた場合でも数日間は枯渇しないし、水(や海水)を補充することで冷却を維持できることは、福島原発事故でも示されたとおりである。また、集中して貯蔵されているということは、監視が容易であるということでもあり、核燃料物質の盗取に対する監視はしやすいと言える。米NRCは、『使用済燃料プールと乾式キャスクの両方とも、公衆の健康と安全、環境を守る上で十分な防護措置を備えているとNRCは考えている。従って、安全性若しくは(核)セキュリティの理由で、プール又はキャスクのいずれかを強制する理由は無い』と述べている²ほか、英原子力廃止措置機関(NDA)は、報告書Oxide Fuels Credible Options内で湿式若しくは乾式で酸化燃料を貯蔵することに伴うハザードは非常に小さいことを示しており³、湿式貯蔵のほうが乾式より物理的に脆弱な訳ではない。また、米国電力研究所(EPRI)が2012年8月に公表した評価結果によれば、乾式貯蔵への移行を促進することで、作業員の被ばく線量が増加することを示している⁴点にも留意が必要である。

湿式貯蔵と乾式貯蔵に、安全性等の優劣が無いとすると、事業者の貯蔵方式選択の理由としては経済性が大きな問題になる。稠密化による湿式貯蔵プールの貯蔵容量増加は、それほど導入費用を要さない場合が多いが、乾式貯蔵はキャスク購入や運搬が必要となるために導入に費用を要するものの、動的な冷却設備を必要としないために管理コストは安価なものとなる。そのため、フランスのように使用済燃料が速やかに再処理されている状況、即ち使用済燃料の行き先が明確である場合、乾式貯蔵を行うメリットは少ないが、アメリカのように使用済燃料を直接処分するという方針ではあるものの処分地が未定である状況、即ち使用済燃料の行き先が不明確である場合、貯蔵期間がどの程度となるか見通す事が出来ないため、長期管理コストが安価である乾式貯蔵が適すると考えられる。また、廃止措置に移行した発電所では、発電所に併設された使用済燃料プールから使用済燃料を全て搬出しなければならないため、乾式貯蔵に移行するという方策がアメリカで採用されている他、日本の浜岡原発や福島第一原発でも、廃止措置に移行した原発の使用済燃料を貯蔵するための構内乾式貯蔵が計画されている。これらは、新たに湿式の貯蔵施設を建設・維持するためには多大なコストが必要となることによるものであると考えられる⁵。

世界的に見て、高レベル放射性廃棄物の処分場選定が順調に進んでいる例は少なく、使用済燃料の貯蔵期間は見通しにくい状況にある。そのため、今後も乾式貯蔵への移行は進められていくであろうが、貯蔵形態を経済性や社会情勢のみで決めるのではなく、湿式貯蔵と乾式貯蔵のメリットとデメリットを認識し、適切な安全上・セキュリティ上の対策を行った上で貯蔵方法を選択することを期待したい。

お問い合わせ：report@tky.iecej.or.jp

² NRC ホームページ, <http://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/faqs.html>

³ Oxide Fuels Credible Options, NDA, November, 2011

⁴ Impacts Associated with Transfer of Spent Nuclear Fuel from Spent Fuel Storage Pools to Dry Storage After Five Years of Cooling, EPRI, 2012/8/31

⁵ 例えば、「IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No.NF-T-3.5 COSTING OF SPENT NUCLEAR FUEL STORAGE」によれば、湿式貯蔵のコストは、貯蔵期間全体に渡り乾式貯蔵の貯蔵コストを上回っていることが図示されている。