

No.25

# デコミ ニュース

第25号

## 目次

1. 米国高速中性子試験炉(FFTF:Fast Flux Test Facility)の  
閉鎖プロジェクト … 1
2. 燃料サイクルに関係しない放射線源・小型研究施設に関する  
廃止措置の方策と課題 … 5
3. カナダ原子力公社(AECL)における放射性廃棄物管理 … 9
4. ドイツにおける最近の廃棄物処分に関わる動向 … 13
5. 米国WIPPの廃棄物輸送システムの安全性実証 … 16

(財)原子力研究バックエンド推進センター

RAANDTEC

# 1. 米国高速中性子試験炉(FFTF:Fast Flux Test Facility)の閉鎖プロジェクト

核燃料サイクル開発機構 経営企画本部

バックエンド推進部 次長 林道 寛

## はじめに

高速中性子FFTFは、ワシントン州にある南東のエネルギー省(DOE)のHanfordの400エリアに位置し、熱出力400MWのナトリウム冷却高速試験炉であり、DOEが所有しFluor Hanfordにより管理されていた。FFTFは1978年に建設が終了し、1980年当初に運転が開始された。1982年4月から1992年4月まではFFTFは改良型原子力材料、燃料、機器の試験、プラント運転、メンテナンスや原子炉安全設計等のため、国の研究施設として成功裏に運転された。また、FFTFは医療及び工業用の放射性同位元素を製造するとともに、米国の核融合計画のためのトリチウム製造を行った。さらに、我が国を始めとする国際研究協力に使用されてきた。

FFTFは1993年12月に、経済的な観点から運転を停止した。1994年から1997年まで、燃料集合体は原子炉内から炉外燃料貯蔵槽及び乾式貯蔵キャスクに移すと共に、一部のシステムに運転操作を行えない措置を講じた。その後、FFTFのミッションについての検討が進められ、DOEは1998年12月にトリチウム生産を行わないことを決定し、2002年3月には、廃止する方向を明確にするとともに、閉鎖に至るいくつかのオプションを検討している。ここでは、廃止措置(遮へい隔離)の準備状況と現在の計画について報告する<sup>1)</sup>。

## 1. 工程と予算

現状で想定されている工程によれば、廃止措置までの準備として、燃料取出しからナトリウムのドレンまでの作業を行うことになっている。現在、燃料集合体は炉心から全て取出され、このうち126体の燃料集合体は洗浄を終了して、乾式貯蔵キャスクに入れてエリア内に保管されている。また、残りの250体の使用済み燃料集合体は洗浄待ちとなっており、炉外燃料貯蔵槽に貯蔵している。二次系ナトリウムのドレンは2002年11月から12月まで行われた。現在一次系のナトリウムのドレンの準備検討が行われている。またこれらと平行し、プラントシステム系の運転停止措置を2002年11月から開始するとともに、2007年から開始される廃止措置(現状では原子炉格納施設の決められたレベル以下の部分を遮へい隔離)の検討が行われている。図1に現状の検討工程を示す。太線部はクリティカル工程と考えられている。

FFTFの廃止措置費用については、いくつかの試算が行われているが、最近の評価では、付随する費用や人件費を含めて、原子炉格納建物のあるレベル以下を遮へい隔離するまでの2009年で完了する工程では、総額約5億4,700万ドル(約650億円:118円/\$)と想定されている。図2にFY2003年からFY2010までに想定される予算の年度展開を示す。この廃止措置費用の検討結果については、このプロジェクトの主契約者であるFluor Hanford社は各国の廃止措置費用のコスト評価を行っているTLG社にレビューを依頼し、外部機関による妥当性を評価している<sup>2)</sup>。

## 2. ナトリウムの処置

FFTFは総量260,000ガロン(約950トン)のナトリウムを使用しており、その措置についての対策が検討されている。オプションとしては、①そのままサイト内の貯蔵施設で長期保管、②Hanfordに処理施設を建設する、③アイダホ州にあるアルゴンヌ国立研究所West(ANL-W)の処理施設で水酸化ナトリウムにするという方法が考えられた。現状ではコスト、工程等を考慮

して、ANL-Wで水酸化ナトリウムとした後、Hanfordの高レベル廃棄物タンクのスラッジの前処理工程の一部として、苛性洗淨液に使用する予定となっている。なお、ANL-Wの処理施設及び処理方法については、デコミニユースNo.21（2002年10月）<sup>3)</sup>及びNo.24（2003年6月）<sup>4)</sup>を参照されたい。

一次系のナトリウムのドレンはコールドレグ配管の貫通レベルの高さまでは一次系ナトリウムタンクへドレンすることができるが、これより下のレベルはサイフォンブレイクによりドレンできず、約16,000ガロン（約59トン）のナトリウムが原子炉容器には残ることになる。これを取出すために、厚さ3インチの低圧プレナムプレートに穴を開けて、ポンプと吸引配管を挿入し、直浸型のヒーターによりナトリウム温度を保ちつつ、ナトリウム液面を加圧しながら抜き取っていく。このモックアップ試験装置を図3に示す。液面の低下によりヒーターの加熱効率が低下することもあり、空気ブロー装置によりバックアップの熱入力が可能なように配慮している<sup>5)</sup>。

このようにして抜き取った後の一次系の残留ナトリウムは約3,600ガロン（約13トン）と評価している。この処理については、湿り窒素ガスによるフラッシングが考えられているが、詳細は不明である。（通常は湿り炭酸ガス或いは湿り窒素ガスによる安定化処理が考えられる。）

この他、FFTFではNaKを崩壊熱除去系、一次系コールドトラップ及び炉外燃料貯蔵槽の冷却系として使用している。NaKは常温で液体であり、化学的に極めて活性に富んでいるため、カリウム超酸化物として不安定な化合物を形成する。従って、ドレン後はナトリウムで系統をフラッシングすることになっている<sup>6)</sup>。

### 3. 施設の廃止措置（解体撤去）

現状の計画では、FFTFは原子炉格納建物の地表面以上の構造物は解体し、それ以下は、グラウト等を充填することにより、放射性物質や化学的な危険物を固定し、工学的なバリアで覆うことを考慮している。この状態が遮へい隔離であり、その後のグリーンフィールド化（更地化）まで行くか否かは今後の課題である。遮へい隔離以外の施設の解体は、図1の工程によれば2002年の10月から開始しているが、現在は窒素ガスやアルゴンガスの供給タンク、PCB変圧器などの他に設置している比較的小さな設備から撤去が行われている。また、高速炉特有の機器として、一次系のコールドトラップやセシウムトラップがあり、その表面線量率が約10～100R/hであることから、ANL-Wではこれらを遠隔で処理する設備の検討を行っている<sup>7)</sup>。

#### おわりに

米国では、ナトリウム冷却高速炉としてEBR-I、EBR-II及びFFTFがあり、既にEBR-Iは廃止措置が完了し、EBR-IIも残留ナトリウムの処理が終了して安全貯蔵状態に入っている。FFTFも主として経済性の側面から運転停止後、現在の計画によれば、2009年までに遮へい隔離状態にすることになっている。本年6月に英国のドンレイにて行われた世界原子力発電技術者協会（WANO）の高速炉会議において、FFTFの閉鎖プロジェクトの計画が紹介されたが、高速炉固有の課題としてナトリウムの措置があり、FFTFにおいてもクリティカル工程ではないが、準備検討も含めてナトリウムのドレンに伴う作業が3年、またクリティカル工程となる残留ナトリウムの措置が約2年間要するとしており、これらの工程を短縮する技術開発も今後の課題と考えられる。

## 参考文献

- 1) A Farabee, "FFTF Past, Present, and Future," 6<sup>th</sup> WANO Fast Breeder Reactor Group Meeting, Dounreay Reactor Site, Scotland, June 10-12, 2003.
- 2) Fluor Hanford, "FAST FLUX TEST FACILITY CLOSURE PROJECT," Prepared for the U.S. Department of Energy Assistant Secretary for Environmental Management, Sep. 2002.
- 3) 中山富佐雄 "高速実験炉EBR-IIのナトリウム処理が成功裏に終了," デコミニュース, No.21, 2002年10月.
- 4) 中山富佐雄 "EBR-IIはどのようにして残留ナトリウムを安定化したかー米国の実験用高速炉EBR-IIの安全貯蔵ー," デコミニュース, No.24, 2003年6月.

項目	年度	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	備考
燃料取扱系の機能回復		[Timeline bar from 2002 to 2003]									炉外貯蔵集合体の移送用
燃料集合体の移送		[Timeline bar from 2003 to 2005]									炉外貯蔵集合体
ナトリウムのドレン		[Timeline bar from 2003 to 2005]									
炉停止系の措置		[Timeline bar from 2003 to 2006]									PCBトランスを含む炉停止系施設
ナトリウムの移送		[Timeline bar from 2004 to 2007]									残留Naの抜き取りと全NaのANL-Wへ移送
廃止措置(遮へい隔離)		[Timeline bar from 2004 to 2010]									

図1 FFTFの解体準備と廃止措置(遮へい隔離)工程

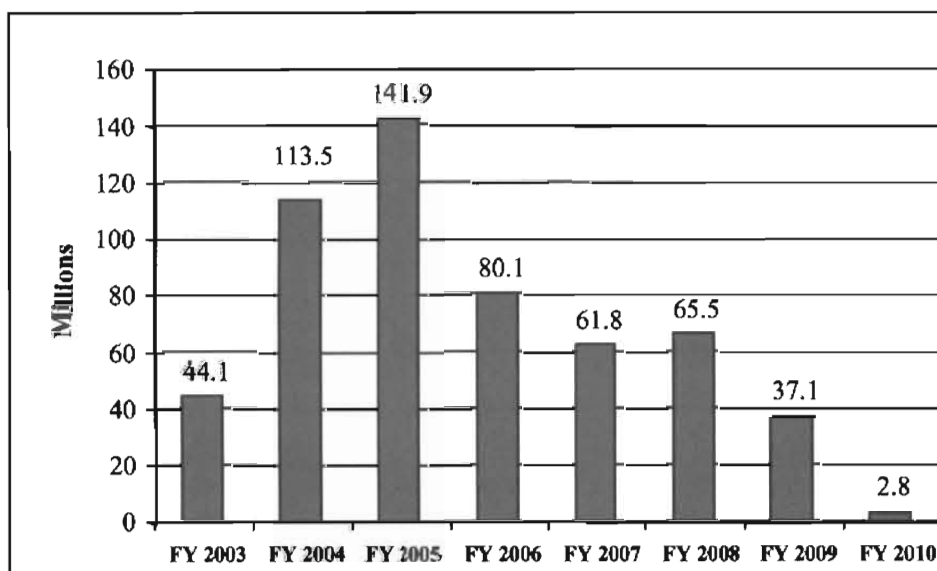


図2 想定される予算の年度展開

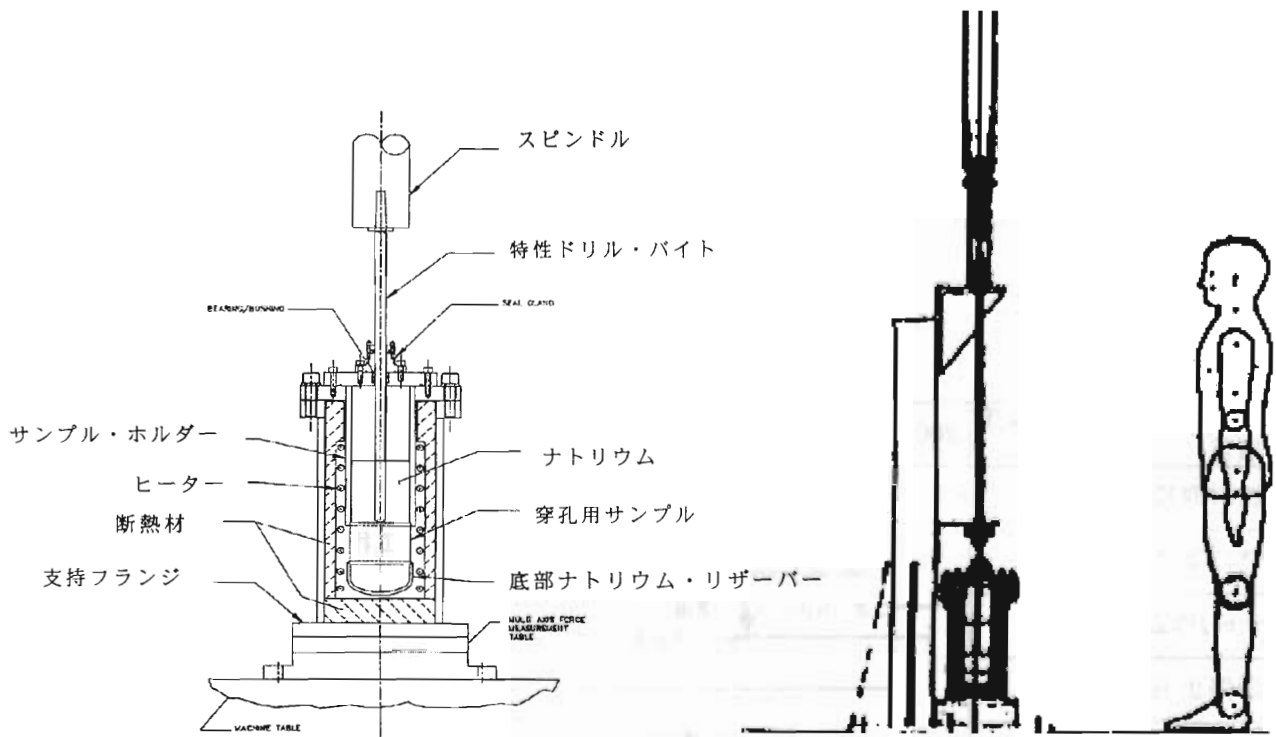


図3 低圧プレナム貫通用のドリル装置のモックアップ  
 (原子炉容器入口コールドレグ配管以下のNaの抜取り用)

## 2. 燃料サイクルに関係しない放射線源・小型研究施設に関する 廃止措置の方策と課題

臨界実験装置、放射線治療部門や工場で使われる放射線源・小型研究施設に関する廃止措置の検討結果が、医療・研究・産業用小型研究施設の廃止措置としてIAEAから出版された<sup>1)</sup>。また、その解説が最近報告されたので<sup>2)</sup>、ここに要約して紹介する。

### 1. 概要

動力炉、再処理、比較的大型の原型炉、研究炉、試験炉に比べて、放射線源・小型研究施設は数が多いが、廃止措置での放射線上的リスクは低い。しかし、臨界実験装置、放射線診断・治療に使う小型施設または放射性物質を用いる工場では、訓練を受けたことがなく、廃止措置、廃棄物管理、関連の安全性に慣れていない者も利用する。廃止措置が退屈で、程度の低い活動であるという間違った認識を持つ利用者が多い。また、小型放射線源を利用する者にとって、放射線利用は彼らの仕事のうちの2次的なものに過ぎない。

このような状況では、廃止措置についての最小限の要求は無視される可能性があり、結果として、不必要なコストや作業の遅れ、放射線源の紛失といった安全上の問題がおきる。また、無知な人が怪我をするか危険にさらされることになる。

放射線源・小型研究施設については体系的な登録制度が設けられていないので、世界中にどれくらい存在するかを知ることは難しいが、IAEAが最近、調査を行った結果では、放射線源・小型研究施設が非常に多いことを示している(表1)。このことは、特に規制が緩い国では、有害な高レベルの放射性物質が捨てられ、広がって公衆に害を与えるおそれ大きい。

表1 世界における放射線源・小型研究施設の利用数

地域	アフリカ			東アジア			ヨーロッパ			中南米	北米	西アジア	世界		
	先進国	途上国	合計	先進国	途上国	合計	先進国	途上国	合計	途上国	先進国	途上国	発展国	途上国	合計
医療															
核医学部門	19	76	95	596	1067	1663	1016	859	1875	1016	1909	157	3540	3167	6707
放射線診断	0	0	0	0	4913	4913	0	0	0	0	13855	11500	13855	16413	30268
ガンマカメラ	0	87	87	3005	874	3879	3740	605	4345	953	8940	166	15685	2685	18370
サイクロトロン	1	1	2	39	13	57	86	9	95	6	76	6	202	40	242
遠隔治療装置 (Co-60, Cs-137)	20	75	95	21	711	732	251	313	564	368	199	140	491	1602	2093
小線源照射治療	14	72	86	13	391	404	561	152	713	248	1074	28	1662	888	2550
産業															
工業用照射装置	1	7	8	3	42	45	17	11	28	14	29	7	50	81	131
工業用ラジオグラフィ	0	146	146	401	1191	1593	11438	386	11824	547	12470	528	24309	2757	27066
発光利用	0	0	0	0	0	0	267	0	267	0	291	0	558	0	558
計測器類	0	394	394	1081	3209	4289	57191	878	58069	3138	62350	541	120621	8108	128729
研究															
医学、工学、教育用施設	23	271	294	743	2207	2950	77326	506	78032	153516	84518	0	162810	150499	313310

政策立案者、運転者、廃棄物管理者等は、一部のIAEA参加国によって得られた経験を通して、放射線源・小型研究施設の廃止措置における重要な要点を知る必要がある。

## 2. 施設の種類

放射性物質及び線源が製造、取扱、または使用される医療、工業、研究の分野は、次のタイプに分類される。

- ・医療診断、処置のために使われるアイソトープ等の放射線治療ユニットの医療施設。
- ・放射線及びラジオグラフィを使う工業利用で、混合物の製造と標識化、不妊化、水処理、食品照射、測定/校正のための放射性物質（主に密封線源）の使用、原油採掘、非破壊検査と品質管理、煙検出器や帯電防止のような量産品。
- ・原子力産業界に関係する研究施設（例えば、ゼロまたは低出力原子炉、臨界または未臨界実験装置）、薬学及び医学、臨床プロセスの開発、調合化合物の応用。
- ・大学及び学校における教育、研究、分析用実験施設。
- ・放射性核種を製造するために使われる小型サイクロトロン及び粒子加速器。

## 3. 廃止措置の方策

放射性物質、特にラジウムは健康のために有用なものとして、1940年代以前には管理されずに使われた。1950年代から放射性核種は広く使われたが、全ての活動が適正な管理下にあったとは言えないし、廃止措置、処分、廃棄物管理についても同様であった。この状況は、多数の小量物質、危険の多様性、廃止措置と処分に対する適正な財政、組織上または技術的な見通しのない使用により、悪化している。また、放射性物質管理に対する訓練や経験のない新しい利用者に、線源が渡っている。

### (1) 廃止措置の目的と期間

廃止措置は、従事者や公衆に及ぼす放射線のリスクを減らすことが目的である。この目的を達成するために、適切な廃止措置が必要であり、もし必要なら中間貯蔵を伴う処理、及び永久処分を含む廃棄物管理を含んでいる。

廃止措置は、施設の種類、放射性インベントリ、放射性核種の半減期、選んだ廃止措置の方式、採用された技術により終了する期間が異なる。廃止措置は、放射線上のサーベイの後、放射性物質（例えば、密封線源）の除去には数日で終わることもできるし、必要に応じて除染のみで法規制上からの施設解除を申請できる。しかし、小型研究炉や研究施設では、数週間から数ヶ月にわたる解体、除染の作業になる。

放射性インベントリの少ない小型装置では、即時解体が最も適切な選択肢である。さらに、即時作業は、施設の運転員を使うことが出来る最良の方策である。さらに、不履行による遅れまたは遅延の方策は、多くの問題及び望ましくない状況（次項を参照）になるので、許されないし、薦められない。燃料サイクルに関係しない原子力施設の廃止措置に関するNRCの報告があり<sup>3)</sup>、これらの施設の廃止措置の代替え案が議論されている。

### (2) 放置状態

原子力施設を閉鎖した後に放置すると、危険な状態になる。不幸なことに、閉鎖された多数の小型施設が日常的に放置されており、施設の性格上、不使用や保守のために容易に止められ、経済性、旧式、または、他の理由で再使用されないことがよくある。閉鎖施設はリスクがささいで無視できるとの間違った認識によって、よく放置状態にされる。その他、資金不足のために放置される。結局、放置状態はプラントの放棄につながる。（注：放置状態は、短寿命アイソトープの崩壊のために遅延することと混同してはならない。）

放置によってさまざまなリスクが生じ、例えば、プラントに詳しい担当グループが解散し、書類が紛失するため、プラントの知識や運転の特徴は消失しやすい。特に、正確な記録がない1960年代、1970年代に建設・運転された施設に対しては、主たる担当者の昔の記憶が、廃止措置に重要な役割を果たす。情報のない新しいチームにとって、廃止措置の計画や実行が複雑で、規制当局及び関連機関を満足させることが難しいことになる。

放置による他のリスクは、例えば、適正な保守不足のため、システムや機器の劣化、汚染、液体の漏れ、ドレインポンプや排水溜めの機能喪失を起こす。例えば、もし雨水や地下水が施設に流れれば、汚染が広がり、作業員や公衆に対するリスクとなる。さらに、不注意なサーベイランスによって、汚染の拡大、回収価値がある放射線源の盗難といった重大なリスクが生じる。

### (3) 個々の施設に対する方策の確立

放射線源・小型装置にとっての適切な廃止措置の選定は、動力炉または核燃料サイクル施設に対するものの要求より単純である。これらの施設をグループに分けて、グループごとに使用例と廃止措置の特徴と方策をまとめて表2に示す。

### (4) 放射性物質の管理が確立する以前に運転された施設の方策

放射性物質の管理が確立する以前に運転された施設の廃止措置を計画する場合、まず、施設の危険な特性（放射性か非放射性か）を次のような方法で調べる：

- ・施設レイアウト、施設の使われ方、廃棄物の搬出、構造物、コンテナ、配管等に関する履歴調査
- ・可能であれば、過去の担当者の聞き取り調査
- ・特性調査と衛生安全計画の両方に重要な基本データを得るために、全体的な調査の実施（例えば、線量率、酸素濃度、有毒ガスまたは可燃性ガスの存在）
- ・分析用サンプルの採取

初期の特性調査では、しばしば作業員の十分な安全性が要求される。使用されていないか廃棄された施設に最初に入室する場合に、作業員を防護する必要がある（例えば、防護マスクや防護服）。さらに、照明、電気、換気、通信等の準備も必要になる。

十分な施設情報が集まれば、廃止措置計画の通常の方法が有効となる。しかし、計画によっては、廃止措置の実施を支援する既存施設の利用を考慮する必要がある（例えば、更衣室、除染区域、支援事務所）。

廃止措置の実施を支援する資金不足によって、計画立案を難しくしている。廃止措置の実施を成功させるためには、現所有者（場合によっては過去の所有者）、所管規制当局、地方自治体との密接な協力が重要である。住民も施設の状況と除染の計画に強い興味を持つ場合が多い。

## 4. 経験の重視

確立した計画に従って、運転経験者が関与して適正な装置を使えば、小型装置の解体と除染は技術的に問題にはならない。廃止措置は施設の経験者によって行われることが最善であり、また、動機と訓練が重要である。放射線源を元の製造者または他の許認可機関への返還が廃止措置にとって良い慣例となる。

(技術開発部 宮本 喜晟)



## 参考文献

- 1) IAEA, "Decommissioning of Small Medical, Research and Industrial Facilities," TRS414(2003).
- 2) Michele Laraia, "Decommissioning Strategies and Concerns for Small Non-Fuel-Cycle Facilities," Radwaste Solutions May/June(2003).
- 3) U.S. NRC, "Technology, Safety, and Costs of Decommissioning Reference Non-Fuel-Cycle Nuclear Facilities," NUREG/CR-1754(1981), Supplement 1(1989).

表2 放射線源・小型研究施設の種類の廃止措置の特徴

放射線源・小型研究施設の種類の種類	使用例	廃止措置の特徴と望ましい方策
(1) 密封線源	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線治療、特に小線源による組織内照射治療</li> <li>・γラジオグラフィ</li> <li>・厚さ、密度、液位、湿度の測定</li> <li>・校正用携帯小線源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型でスクラップ値が高く、直接的な危険を冒しやすい。正確な量を把握することが困難。</li> <li>・使用後の方策： <ul style="list-style-type: none"> <li>・別の利用者に引き渡し</li> <li>・製造者または供給者に返還</li> <li>・短寿命の放射性核種は崩壊を待つために貯蔵し、非放射性物質として処分</li> <li>・処理施設が使えるようになるまで、集中方式の中間貯蔵施設へ輸送</li> <li>・中央処理施設まで輸送し、中間貯蔵</li> <li>・線源を敷地内で処理し、集中貯蔵/処分施設が利用できるまで中間貯蔵</li> <li>・処理済み線源を利用可能な処分場に輸送</li> <li>・認可された処分場での最終処分</li> </ul> </li> </ul>
(2) 照射装置を含む強力な放射線源施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<sup>60</sup>Co 照射装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適正な装置と経験者により取り扱われる。</li> <li>・廃止措置の方策： <ul style="list-style-type: none"> <li>・照射装置製造業者へ返還</li> <li>・(上記の返還が無理な場合) 中間貯蔵</li> </ul> </li> </ul>
(3) 粒子加速器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファン・デ・グラフ型加速器</li> <li>・線形加速器</li> <li>・サイクロトロン</li> <li>・シンクロトロン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物の放射化により、多量の低レベル廃棄物が発生。</li> <li>・ターゲットから放出されるトリチウム等の内部汚染の可能性あり。</li> <li>・廃止措置の方策：可能な限り早期に解体</li> </ul>
(4) 研究施設、ホットセル、放射化学施設、医療施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核医学、獣医学、薬学の実験室</li> <li>・大学、研究所の実験室</li> <li>・工業開発用実験室</li> <li>・ホットセル、グローブボックス、排気フード</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶解性、浮遊性の物質を取り扱うことにより、広範囲に汚染している可能性あり。</li> <li>・先進国は緊急な課題として汚染された施設の廃止措置に取り組んでいる。特に、長年放置された施設とサイトは、出来るだけ早く廃止措置することを提案。</li> </ul>
(5) 小型研究炉と臨界実験装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験研究炉</li> <li>・臨界装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同種の原子炉廃止措置の経験が活かせる。</li> <li>・臨界装置の放射性インベントリは低い。</li> <li>・燃料を取り外せば、廃止措置は容易。</li> </ul>
(6) 製造施設の放射線源	<ul style="list-style-type: none"> <li>・煙検知器、各種測定器</li> <li>・照明、蛍光</li> <li>・静電防止器</li> <li>・(掘削用) 検層装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・完全密封型と非密封型の線源があり、廃止措置の方策が異なる。</li> <li>・廃止措置は密封線源と同じ。</li> </ul>

### 3. カナダ原子力公社(AECL)における放射性廃棄物管理

#### はじめに

本資料では、カナダ原子力公社(AECL)により実施されている廃棄物管理およびデコミッショニングプロジェクトの現状について、昨年米国で開催された国際会議(Spectrum 2002)での発表内容<sup>1)</sup>等を参考に紹介する。

1952年にカナダにおける原子力平和利用に関する研究開発の中心的役割を果たす機関として連邦政府の出資により設立され、昨年50周年を迎えたAECLには長い放射性廃棄物管理の歴史がある。また、カナダには1930年代に始まったラジウム鉱石やウラン鉱石の採鉱や処理により残された放射性廃棄物の遺産もある。連邦政府は、1995年から96年にかけて実施されたAECLの再検討プログラムにより廃棄物管理の研究開発方針を変更したので、それに伴い原子力研究開発予算も削減されており、AECLでは事業所や研究所で、活動の縮小や閉鎖、商業化などに着手している。

AECLの2番目の研究所として設立されたホワイトシェル研究所(WL)では、放射性廃棄物管理の研究に重点が置かれ、使用済燃料の地層処分に関する基礎研究、環境影響評価コードの開発等とともに、地下研究施設(URL)を併設して原位置試験が実施された。1996年に定められた放射性廃棄物の政策の枠組みの中で、AECLに対してWLの民営化が勧告され、その後の政府予算の打ち切りなどによりWLの廃止が決定した。AECLは1998年12月16日、WLでの原子力研究活動を2001年12月までに中止すると発表した。すでにホワイトシェル研究所における廃止措置計画については、デコミニュースで紹介している<sup>2)</sup>。

#### 1. AECL 研究所における廃棄物管理とデコミッショニング

AECLが実施している放射性廃棄物管理活動には、①チョークリバー研究所およびホワイトシェル研究所の放射性廃棄物貯蔵施設および処理施設の運転、②連邦政府の責任となっている過去の放射性廃棄物問題(放射性鉱石の採掘、輸送、および処理に関連する遺産)を解決するための天然資源省(NRC: Natural Resources Canada)を代表する低レベル放射性廃棄物管理事務所の運営、③カナダの使用済燃料の地層処分概念および関連技術開発、④低レベル放射性廃棄物のための耐侵入性に優れた地下構造物(IRUS: Intrusion Resistant Underground Structure)処分概念の開発、⑤使用済燃料中間貯蔵のための乾式貯蔵技術開発、⑥チョークリバー研究所およびホワイトシェル研究所におけるカナダ型重水炉(CANDU炉: Canada Deuterium Uranium Reactor)開発のための廃棄物処理技術開発および評価などが含まれる。

廃棄物管理においては、処理、貯蔵、処分全ての段階を考慮し、かつ新しい廃棄物管理施設の開発や廃棄物管理の実施の改善も含む統一の取れた計画策定とその実行が極めて重要である。AECLにおいては、ニーズの評価、優先順位の設定、および統一の取れた廃棄物管理およびデコミッショニングや負の遺産の管理に責任を有する中心的な計画グループにそれらの責任を与えている。

初期の頃の廃棄物管理においては、作業者の安全を確保する観点は十分認識されていたが、将来の処理、処分のための再取り出しの可能性は十分に考慮されず、長期間の安全評価が行われない事実上の処分といった形態であった。その後の知識や技術の改善により、チョークリバー

サイトでの包括的な10年計画の策定、プロジェクトチームの発足など、現状と世界の最適な方法とのギャップを縮める努力が行われている。

AECLがチョークリバー研究所において実施中の廃棄物修復強化プロジェクトとして、①スチールライニングのコンクリートスタンドパイプ（図1、図2）に貯蔵されている過去の研究炉燃料の回収、処理、中間貯蔵施設への設置を実施するプロジェクト（Tile Hole Remediation Project）、②貯蔵タンクに貯蔵されている中高レベルの放射性廃液の回収、処理を行うプロジェクト（Stored Liquid Waste Remediation Project）、③低レベル固体廃棄物の廃棄物特性評価施設の建設、④液体廃棄物処理能力の増強、⑤スタンドパイプ使用の段階的廃止のための長期貯蔵施設、⑥IRUS（耐侵食性に優れた地下構造物方式）として知られている比較的短い半減期の放射性廃棄物のコンクリート製の地下原型ポルト施設の建設計画といった多数の小さなデコミッションング



図1 移送容器からスタンドパイプ貯蔵へ移送中の高いレベルの放射性廃棄物



図2 建設中の高いレベルの放射性廃棄物貯蔵用スタンドパイプ

プロジェクトがある。その他、現在貯蔵中の廃棄物管理を改善したり、過去の活動による環境汚染に取り組むための修復プロジェクトのオプションの評価を実施している。

これらの活動は、デコミッションングおよび負の遺産の管理として、特にこの目的のために設けられた専用の基金により支援されている。

## 2. 低レベル放射性廃棄物管理事務所

カナダにある低レベル放射性廃棄物は、定常的に発生しているものと、過去の活動から生じたものの2種類に大別できる。後者に分類されている廃棄物は、貯蔵されている低レベル廃棄物全体の約90%を占めており、そのほとんどがオンタリオ州のポートホープ地域にある2カ所の廃棄物管理サイトに置かれている。

連邦政府の責任となっている過去の放射性廃棄物管理のため1982年に設立され、AECLにより運営されている低レベル放射性廃棄物管理事務所は、オンタリオ州南部のポートホープとその周辺、ブリティッシュ・コロンビア州のサリー、アルバータ州北部のフォートマクマレーなど過去の活動から生じた廃棄物がある地域において、浄化ならびにモニタリング活動を続けている（図3）。



図3 マルベリンでの汚染土壌作業（オンタリオ州、トロント）

ポートホープ地域における廃棄物は、ラジウムとウランの製錬所が長期にわたり操業された

のに伴い発生したものである。2001年には、廃棄物を抱える地域の自治体が政府に対して、地域内に新しい低レベル放射性廃棄物貯蔵施設を開発し、長期にわたって地元で管理することを提案し、政府もこれを受け入れる動きがあった。

サリーでは、トリウムで汚染された2カ所のサイトの浄化作業が終了している。採掘されたウラン鉱石の輸送時に汚染したフォートマクマレーでは、およそ4分の3の汚染土壌を地上の貯蔵場所へ移す作業が行われた（図4）。



図4 アルバータ州フォートマクマレーでのLLW廃棄物貯蔵セル

### 3. 使用済燃料の貯蔵・処分

カナダで運転されている原子力発電所の炉型は、すべて国産のCANDU炉であり、1970年代には、使用済燃料の長期貯蔵技術を開発し、再処理せずに直接地層処分することを基本政策として採用した。

この基本政策に従って、原子力発電所から発生した使用済燃料は、各原子力発電所内の湿式の冷却プールまたは乾式貯蔵施設に貯蔵されている（図5、図6）。

カナダ国内の原子力発電所のほとんどがオンタリオ州に立地しており、CANDU炉の使用済燃料などの核燃料廃棄物の発生者は、主にオンタリオ・パワー・ジェネレーション社、ハイドロ・ケベック社、ニュー・ブラウンズウィック社およびAECLである。（かつて北米最大の電力会社であったオンタリオ・ハイドロ社は1994年4月1日、正式に解体された。）

使用済燃料の累積発生量は、2003年1月時点における核燃料廃棄物管理機関の情報によると、約150万本である。

これまでにAECLは、カナダ楯状地の安定な岩盤への使用済燃料の地層処分についての研究を行った。処分サイトを特定しない一般的な地層処分についての安全評価が行われ、1994年に環境影響評価書が取りまとめられた。その結果、安全性には技術的かつ社会的な2つの補完的な見方が必要で「技術的には満足できるが、地層処分を進めるには社会的受容性を確実にする広い公衆の支援が必要」との評価が行われた。

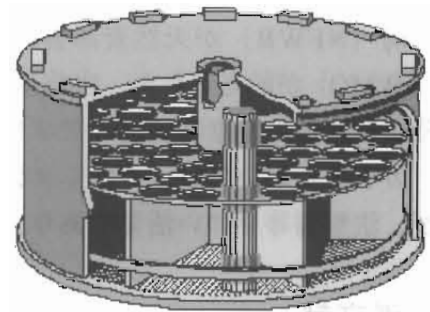


図5 60体のCANDU使用済燃料集合体を保持しているバスケット

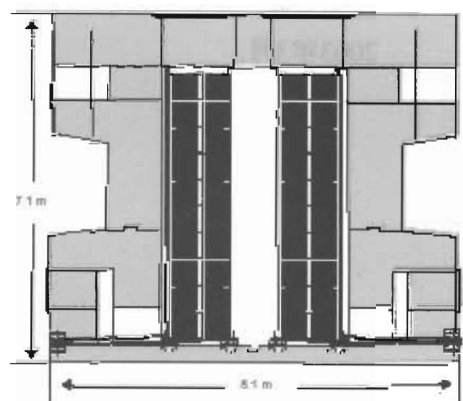


図6 MACSTOR 乾式貯蔵モジュールジェンティリー2

またAECLは、マニトバ州の花崗岩に設けられた地下研究所（URL）の地下420mで、コンクリート系プラグおよびベントナイト系プラグを同一の処分坑道の両端に設置して、実規模でのシーリング技術の設計、施工、性能評価の実証のためのトンネルシーリング試験（TSX）を、1996

年から国際共同研究で行っている(図7)。なお、日本からは核燃料サイクル開発機構が参加している。

#### 4. まとめ

カナダ政府は1996年7月に、使用済燃料を含む全ての放射性廃棄物の政策の枠組みを決めており、廃棄物の処分などに関連した施設については、廃棄物の発生者と所有者が、資金の拠出、組織運営、管理、操業に責任を負うこととなっている。カナダでは、天然資源省が政策を決定し、原子力安全委員会が規制を行っている。

2000年5月に、それまでの原子力規制委員会(AECB)は正式にカナダ原子力安全委員会(CNSC: Canadian Nuclear Safety Commission)となった。

2002年11月に使用済燃料の長期的管理を目的とし、実施主体の設立などを盛り込んだ核燃料廃棄物法が施行された。これに伴い核燃料廃棄物の管理事業の全般的な監督を行う核燃料廃棄物局(NFWB)が天然資源省内に設けられ、処分の実施主体となる核燃料廃棄物管理機関(NWMO)が設立された。実施主体は法律施行後3年以内に、地層処分、サイト内貯蔵、集中貯蔵など複数の廃棄物管理のアプローチを検討し、天然資源省に提案することになっている。

カナダにおいては、デコミッションングの実施や規制、処分の実施主体の設立といった動きが、法整備等を伴い活発であり、その動向は注目される。

(技術開発部 池田 諭志)

#### 参考文献

- 1) C. J. Allan, "Radioactive Waste Management at Atomic Energy of Canada Limited(AECL)", Spectrum 2002, Nevada, USA, Aug. 4-8, 2002.
- 2) 宮本喜晟, "カナダのホワイトシェル研究所における廃止措置計画," デコミニユース, No.23, 2003年3月.

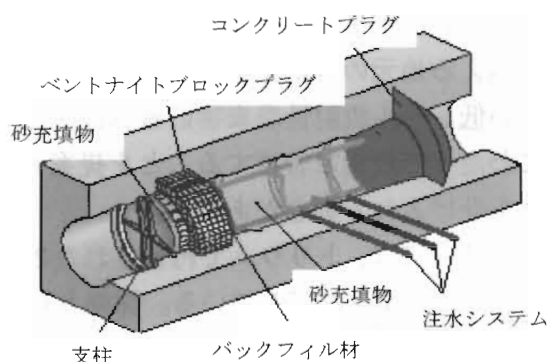


図7 トンネルシーリング試験の配置

## 4. ドイツにおける最近の廃棄物処分に関わる動向

1998年にドイツでは社会民主党と緑の党の連立政権の政策により原子力エネルギー政策が大きく変更された。政府と電力との合意によって原子力発電は各プラント32年間の運転の後に停止される。この政策は後戻りされないことになっている。放射性廃棄物の処分においても、これまでの処分概念の再検討、処分場の安全基準に関する見直し等が求められ、新しい処分方策の検討がなされている。本資料では、ドイツの連立政権の目指す放射性廃棄物の処分政策についての概要を紹介する。

### 1. 放射性廃棄物の処理処分の現況

ドイツの放射性廃棄物処分の基本政策は、1960年代初頭から一貫して、使用済燃料、ガラス固化体、原発の運転廃棄物やデコミッショニング廃棄物、さらに使用済密封線源及びその他雑多な小規模使用者の発生する廃棄物も例外なく地層処分することであり、国が責任を有する。また、原子力エネルギー法によって原子力の安全と放射線防護を担当する「環境・自然保護及び原子炉安全省」(BMU)の監督の下で、現在は連邦放射線防護局(BfS)が処分場の設立、運転に関する任務に当たっている。なお、原子力廃棄物に関わる活動、例えば、使用済燃料貯蔵、再処理、廃棄物処理、輸送及び中間貯蔵などの管理責任は発生者にある。ただその中で、工業、大学、病院で使用された放射性同位元素による廃棄物の地域の一時貯蔵庫の設立・運転は州政府が行うことになっている。

1999年末におけるドイツの廃棄物の管理状況は33,000m<sup>3</sup>が未処理で、64,000m<sup>3</sup>の処理済の非発熱(低レベル)廃棄物が貯蔵施設に保管されている。2080年までの将来予想では、非発熱廃棄物が約303,000m<sup>3</sup>、発熱する使用済燃料及び高レベル廃棄物が22,000m<sup>3</sup>発生するとされる。

### 2. 使用済燃料管理の新進展

2002年の政府と電力との合意及び法改正により、2005年7月からは使用済燃料の再処理はできなくなり、各原発はサイトに中間貯蔵施設を持たねばならない。使用済燃料の輸送は例外的措置を除いて原則禁止となる。この結果、電力はサイト内に新貯蔵施設を建設・運転することになる。電力は、適切な中間貯蔵施設の許認可と建設のために必要な期間(5年間までは)のつなぎの付加的な貯蔵場所をサイトに作ることになる。新施設が運転に入るまでは、使用済燃料を電力は中央中間貯蔵施設又は再処理が停止されるまでは海外に輸送できることになっている。それ以降の使用済燃料の移動は大幅に減少する。2000年秋には12の中間貯蔵施設の建設・運転と5つの貯蔵場所の許可申請があった。その容量はHM(重金属)で120トン~2,250トンである。

全ての許認可では、公聴会が要求されたが、地域によって公衆の利害と反対の程度には大きな相違が見られた。全土では25万人がサイト内の中間貯蔵施設に反対し、グンドレミンゲンの施設に対して7万人が反対した。因みに、ドイツ南部では6施設に対しては隣国オーストリアの住人も環境影響評価に関わり参加した。現在、2003年中には全施設の許可、2005年までには運転が予定されている。

### 3. 放射性廃棄物処分の方法

連立政権及び電力と連邦政府との合意に基づき、ドイツの廃棄物管理と処分概念は見直され、

新知見及び所定の評価法が採用される。合意の主な点は；

- ① 従来の管理及び処分概念は内容的に欠陥があり、放射性廃棄物に関する国の管理計画を作成する必要がある。
- ② すべての廃棄物を対象とする一箇所の深地中の処分場があれば十分であり、2030年までに高レベル廃棄物を処分し、かつすべての廃棄物を処分できるようにすることが政治的目標である。
- ③ ゴアレーベンサイトの処分場としての適性に関しては疑わしい。従って、その調査は中断し、他のサイトでの岩盤の適性調査を行う。コンラッド処分場の許認可計画は停止し、モスレーベンではデコミッショニングすべきである。

#### 4. ゴアレーベン、コンラッド及びモスレーベンの各処分場の現状

連邦政府はゴアレーベン処分場の適性に関して疑問を呈して入るが、不適性と考えられているのではなく、将来の候補地の一つとなろう。現在の岩塩ドームの調査が政府の疑いを晴らすような調査ではないため、中断すると政府との合意はうたっている。中断は最低3年、最大10年とされ、以下の13項目の研究プロジェクト及び調査に焦点を合わせ疑問点の解明を図る。

- ① 隔離期間、② 安全の指標、③ 取出し性、④ 確率論的安全評価、⑤ 人の侵入、⑥ 地層的過程、⑦ 臨界性、⑧ 保障措置、⑨ 多重障壁の概念、⑩ ガス発生、⑪ 化学的毒性物質、⑫ 岩盤の比較、⑬ 自然の観察。

コンラッド処分場の許認可はニーダーザクセン州環境省の規制局が下し終了した。連邦政府と電力との合意によれば、BFSはコンラッドの即時許認可実施の申請を2000年6月に取り下げ、その許可を裁判所の審査に委ねた。この認可取り下げによりコンラッドを全ての非発熱廃棄物の処分場に再構築することは裁判所の最終判断の後になり、それには4年程度掛かり、その後プロジェクトに向けた種々の決定がなされる。

モスレーベン処分場に関しては、1997年にデコミッショニングの申請がなされている。閉鎖後の安全評価が特に重要である。サイト特有の安全評価は元々覆土と封印の概念に基づいていたが、詳細な情報と個々の安全解析によりこの概念が受容できないことが分かった。モスレーベンでは今後処分はなされないこと、また、処分場の中心部分を地層的な安定性と健全性を維持するために覆土対策を進める意向であり、本年末に覆土が始まる。封印概念と広範囲な覆土を組み合わせたものが最終的な概念となる。

#### 5. 処分場の立地過程

廃棄物管理及び処分の新手順によれば幾つかの箇所で適性調査を行うべきであり、最終的なサイトはゴアレーベンも含めて潜在的サイトを比較した上で選定すべきである。このため連邦環境省（BMU）では処分場サイト選定基準と手順の確立のために専門家チームを発足させた。そのサイト選定基準と手順の目指すものはドイツのいろいろな岩盤の中でベストの適性をもつサイトを探すことである。この手順がゴアレーベンの選定に用いられなかった。

サイト選定手順で最も重要なことは、公衆参加によって理解可能な信頼できる方法で潜在的な処分サイト（複数）を定めることである。事前に定めた基準に従って、地方、地域、最終的にはサイトと、着実に処分場としての適性を実証し、かつ許可手続中に確認できる好都合な条件を有するサイトを選定すべきである。

どこのサイト選定に当たっても、受入れ体制をどの段階で決めるかが問題であるが、専門家に

よれば、受入れ体制が重要というよりは、廃棄物を必要な期間を長期にわたり隔離し、しかも今後放射能放出が起こらないサイトの地質学的環境がより重要である。

従って、サイト選定手順の開発は受入れ体制を固めることから始まるのではなく、廃棄物処分に相応した地質学的環境を示し、総合的な基準に基づく選定プロセスを経た上で受入れ体制の確立を図るべきである。

このような考慮を払い現在のサイト選定手順は以下のように行うことが好ましい；

- 第一段階：否定的な地質条件を持つ区域を分類する、
- 第二段階：潜在的に肯定的な地質条件を持つ区域を定める、
- 第三段階：社会環境的に好ましくない条件の区域を分類する、
- 第四段階：最善の地質学的条件が期待できる地域を絞り込む、
- 第五段階：サイト調査に対しPAが得られる（地域に前向きに興味がある）サイトを絞り込む、
- 第六段階：掘削活動をしないサイト調査を行う、
- 第七段階：安全/環境及び地域の関心の観点からの要求を考慮し立地代替案を評価する。

専門家グループはこれまでに第一、二段階の作業を行っている。

処分サイト選定基準と手順の開発には3年かかる。推奨された基準と手順は利害関係者、環境グループ、一般公衆等により議論され、法規制的に実施される。

2002年にサイト選定基準が適用可能となり、その実施が2003/2004年にできれば、2010年にはサイトを選定でできるかもしれない。この場合にはサイト詳細調査、処分場計画、許認可手続き、建設で20年をみて、2030年には運転開始される。

現在、ドイツでは廃棄物処分においては2つの最重要問題があり、その一つは、ゴアレーベンの処分場としての適性に関する政府の疑問点を至急解明することであり、その事業が開始された。もう一つは2002年末までにサイト選定基準と手順について最終的に整備し、公表することである。

(情報管理部 榎戸 裕二)

## 参考文献

- 1) I.A. Beckmerhagen, et. al., "Recent Waste Disposal Related Developments in Germany," 11<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Engineering, Tokyo Japan, April 20-23, 2003.



## 5. 米国WIPPの廃棄物輸送システムの安全性実証

### はじめに

米国においては、軍事施設から発生する超ウラン核種 (TRU) を有する放射性廃棄物のうち、放射能濃度が比較的高く浅地中処分できないものについては、ニューメキシコ州南東部のカールズバッド近郊にある廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) にて地層処分することとしており、1999年3月に廃棄物の搬入が開始された。本報告は約3ヶ年の経験を通して得られた、廃棄物輸送システムの安全性実証に関する概要<sup>1)</sup> について紹介する。

### 1. WIPP のモデル輸送システムの概要

WIPPは、核兵器の研究と製造の段階で生成された超ウラン元素 (TRU) の放射性廃棄物の最終処分埋設地であり、国として最初のものである。TRU廃棄物は、衣類、ツールのほか、研究所素材等であり、その大半は放射性物質のプルトニウムと接触したものである。廃棄物のなかには、溶媒及びペイントを含む危険物もわずかにある。

1950年代にアメリカ科学アカデミー (NAS) によって、岩塩層を廃棄物の永久的な隔離と処分のために優れた地質であると認定され、WIPPの施設が造られた。

WIPPは、カールズバッドの26マイル東に位置し、厚みが2,000フィートにわたる2億5千万年前の岩塩層中に、地上から約0.5マイル地下の場所にフットボール場サイズの処分施設が造られている。

1999年3月26日にWIPPは、ニューメキシコの北に位置するロスアラモス国立研究所 (LANL) から、TRU廃棄物を初めて受け取った。それ以来、36,000以上のドラム缶及び廃棄物ボックスを地下施設に安全に輸送した。

WIPPは、現在5ヶ所のDOE施設からTRU廃棄物を受け入れている。これらのDOE施設は、ハンフォード貯蔵所 (ワシントン州リッチランド)、アイダホ国立工学研究所 (アイダホ州アイダホ・フォールズ近傍)、サバンナリバーサイト (サウス・カロライナ州エイケン)、ロスアラモス国立研究所 (ニューメキシコ州ロスアラモス)、ロッキーフラッツ環境テクノロジーサイト (コロラド州ゴールデン近傍) である。また、国内の他の少量の廃棄物を貯蔵する施設からも受け取ることをしている。

DOEの中間貯蔵施設からTRU廃棄物を撤去することにより、それらの施設の半径50マイル内に住んでいる7,000万人以上の人々の被ばくの潜在的なリスクを減少している。なお、議会は、WIPPに対してTRU廃棄物の最終処分量として620万ft<sup>3</sup> (約18万m<sup>3</sup>) を認可した。

### 2. 放射性廃棄物輸送システムの安全性に関して

#### 2-1 廃棄物運搬容器

TRU廃棄物をWIPPに輸送するために、特別に設計された運搬容器 (TRUPACT-IIと呼ぶ) は、高さ10フィート、直径8フィートのドーム状シリンダー形状となっている。パッケージの主な構成は、ステンレス製のコンティンメント (閉じ込め) 容器で2重構造となっており、魔法瓶の構造によく似ている。内側のコンティンメント (閉じ込め) 容器は、熱の遮断のための10インチの発泡ポリウレタンおよび1/2インチのセラミックファイバーにより包まれている。

TRUPACT-IIの全体をカバーするステンレスの殻は、事故時の衝撃を吸収するための保護層となっている。

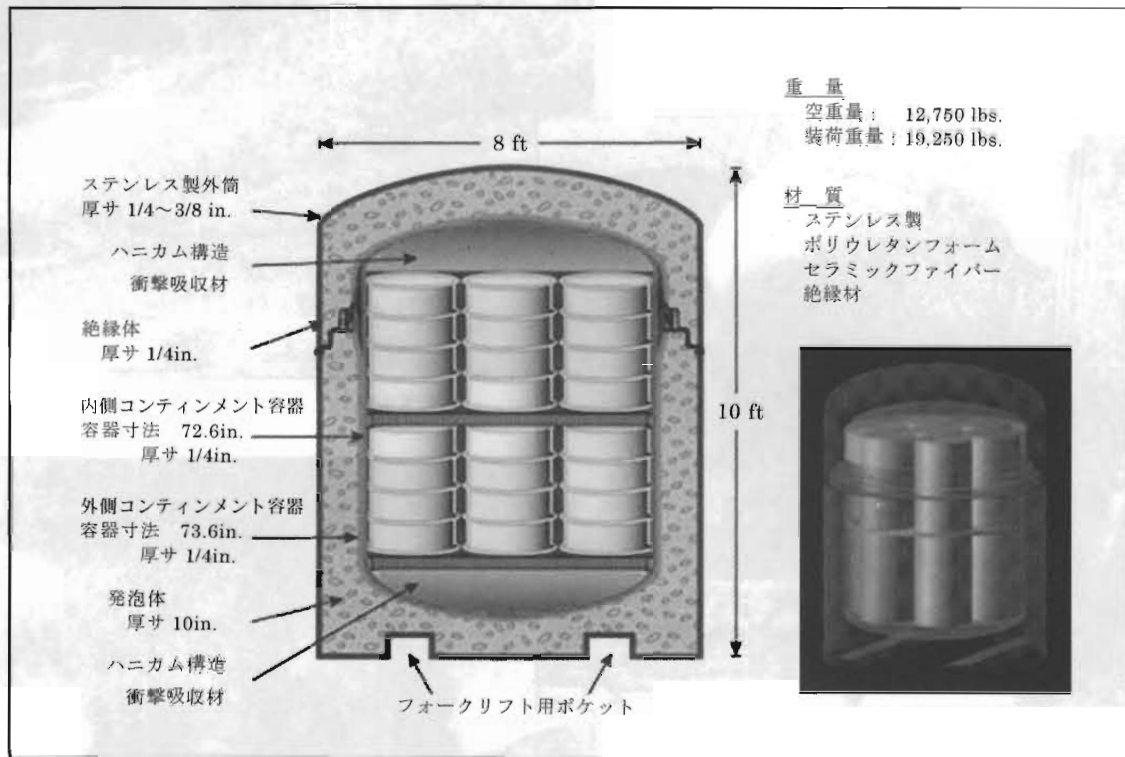


図1 TRUPACT-IIの概略構造

TRUPACT-IIは、米国原子力規制委員会（NRC）の広範なテストを受検することにより、証明書が受与された。プロトタイプのものについては、最大想定ハイウエー事故時における、一連の耐リーク安全性テストの条件が課せられている。

### ① 落下試験

運搬容器は、完全なる衝撃吸収の試験のため、厚さ25フィートのコンクリートに8インチの鋼板でカバーされた表面の上に、強制的に落下させる。

### ② 破裂試験

次に、高さ8インチ、直径6インチのスチールポスト上へ、①の試験で使った同じ容器を40インチの高さから落下させる。容器の外皮に相当する部分にスパイク状の損傷がみられたが、内側及び外側の閉じ込め容器にまでは達していない。

### ③ 耐火試験

上記の試験において凹凸のついたTRUPACT-IIを1,475F（約800℃）の噴射燃料火中のもとに90分以上保持する。テスト結果から、TRUPACT-IIが気密を維持し、過酷な状況下においても安全であることが実証された。



(破裂試験)



(落下試験)



(耐火試験)

図2 耐リーク安全性試験

現在WIPPには、TRUPACT-IIが67基あり、容器コストは約410,000ドル(4千8百万円、118円/ドル) /基となっている。

## 2-2 輸送トラックと運転手

WIPPの輸送トラックは、2つの衛星を利用した経路追尾と通信のシステム(TRANSCOM)を備えている。アルバカーキの中央制御室およびWIPPの中央監視センターの両方で、24時間体制で監視されている。運搬物の位置取りは衛星受信所に送られて移動情報がコンピュータ処理されたマップに表示され、そのTRANSCOM中央制御室に中継される。万一、トラックがルートを逸脱するか、または連絡なしにトラックを停止すれば、中央制御室運転員からドライバーに連絡される。

WIPPのドライバー候補者は、慎重な審査・資格を得たあと訓練される。ドライバー資格としては、年齢25歳以上であること、また最近の5年間に通算325,000マイルの走行経験をもっているか、または5年間のうち2回、1年間で100,000マイルの商用トレーラトラックの運行経験をもっている必要がある。また、5年以内の運転において、無事故無違反でなければならない。

### 2-3 安全実績

TRU 廃棄物の輸送にあたっての基本原則は、時間厳守ではなく、安全最優先である。

これまでの輸送において、2つの軽微なトラブルがあった。一つは、2002年8月に、外部の者の酒酔い運転者の小型トラックによって起こされた追突事故、二つ目は、WIPPのトラック運転者の病気による意識障害から起こされた横転事故があった。しかし、いずれの事故もけがはなく、軽微なトラクターへの損傷だけでとどまった。

両ケースのトラブル事例を受けて WIPP 輸送システムは、直ちに設計への反映がなされた。



図3 TRU 廃棄物の輸送

WIPPでは、現在までに400万マイル以上の運行記録を達成し、3年間における約1,400回の輸送を通して、WIPP輸送システムの安全性について実証することができた。

(技術部 富樫 昭夫)

### 参考文献

- 1) Jessica L. Hogue, "Demonstrating Safety through Performance," Radwaste Solutions, March/April (2003).

## ご案内

### 第 15 回「報告と講演の会」

— 原子力研究の Waste Management の確立を目指して —

当センター主催にて第 15 回「報告と講演の会」を開催するはこびとなりましたので、ご案内申し上げます。

当センターの事業報告をさせて頂くとともに、特別講演を予定しておりますので、皆様奮ってのご来場を心よりお待ちしております。

開催日時：平成 15 年 11 月 21 日(金) 13 時 15 分～17 時 05 分

開催場所：石垣記念ホール(赤坂・三会堂ビル9F)

#### プログラム

- ☆ 特別講演 「韓国における原子力事情と低レベル放射性廃棄物処分地選定のプロセスについて」
  - ・ 韓国水力原子力株式会社 原子力環境技術院  
研究開発室長 宋 明宰 (Myung Jae Song) 氏
- ☆ 事業報告
  - ・ 総括事業報告
  - ・ 圧力管型重水炉の廃止措置
  - ・ デコミッショニング技術の向上

### 第 15 回

### 「原子力施設デコミッショニング技術講座」

当センター主催の第 15 回「原子力施設デコミッショニング技術講座」は、以下の日程で開催の予定ですので、ご案内申し上げます。

講座の概要等につきましては、次号以降にてご案内させていただきます。

開催日時：平成 16 年 2 月 6 日(金) 10 時～17 時

開催場所：石垣記念ホール(赤坂・三会堂ビル9F)

©デコミニュース 第25号

発行日：平成 15 年 10 月 17 日

編集・発行者：財団法人 原子力研究バックエンド推進センター  
〒319-1111 茨城県那珂郡東海村舟石川 821-100  
Tel. 029-283-3010, 3011  
Fax. 029-287-0022

ホームページ：<http://www.randec.or.jp>

E-mail：[decomi@randec.or.jp](mailto:decomi@randec.or.jp)