

# 原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1998.9.NO.46

## 目次

米国旧ウラン燃料製造サイトの汚染と環境修復	①
センターのうごき	⑧

## 米国旧ウラン燃料製造サイトの汚染と環境修復

### まえがき

ウラン燃料製造サイトであったウェルドンスプリングサイトは、図-1 に示すように米国ミズーリ州セントルイスの西約 30 マイルのセントチャールズ郡にある。当サイトでは、第 2 次世界大戦中に軍需品の DNT と TNT を製造した後、1950 年代後半から金属ウランを製造した。その間、工場で生じた製造残渣、建築廃材、廃棄機器を近くの採石場跡と人工ピットに投棄した。

当サイトに隣接してフランシスハウエル高校があることと、1/4 マイル離れたところにはセントチャールズ郡に住む 6 万人の人々が利用する井戸水源があって地下水汚染が心配されるようになったことにより 1988 年から当サイトの浄化が始められた。

ここでは、ウラン廃棄物処分の観点から廃棄物処分場構造を中心にウェルドンスプリングサイト修復計画を紹介する。

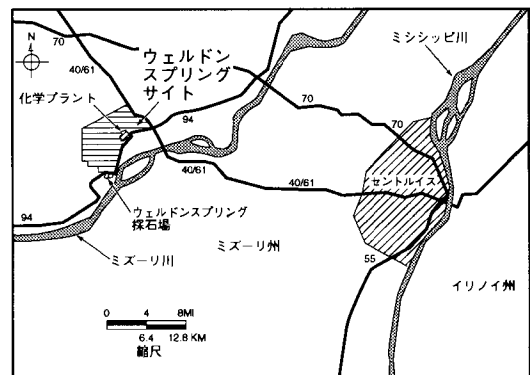


図-1 ウェルドンスプリングサイトの所在地

### 1. ウェルドンスプリングサイトの汚染経緯とその対応計画

当サイトは、当初アメリカ軍の軍需品を製造するための工場があり、1941年から1944年までDNT

と TNT を製造した。1955 年にアメリカ原子力委員会が土地を譲り受けてウラン燃料製造工場を建設し、1957 年から 1966 年にかけて 16,000 トン／年の金属ウランを製造した。1967 年に再びアメリカ軍が土地を譲り受けて除草剤を製造しようとしたが、1969 年に計画が中止された。その後、10 年間活動停止の状態となっていたが、地下水汚染の懸念が指摘され、アメリカ議会は 1984 年にウェルドンスプリングサイト修復計画を承認した。これに基づき、1985 年にサイトの管理がアメリカ軍から DOE (米国エネルギー省) に移管され、翌年 DOE はサイト事務所を開設して 1988 年から修復作業を開始した。この修復作業は、EPA (米国環境保護庁) の法律「Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act」に従って行われている。本修復作業に関与している主な機関は DOE、EPA 及びミズーリ州天然資源部である。

ウェルドンスプリングサイトで発生した放射性廃棄物による汚染の経緯は以下の通りである。

当サイトでは、粗精錬されたイエローケーキを原料として受け入れて金属ウランを製造した。このイエローケーキは約 72% の  $U_3O_8$  を含んでおり、精錬に伴いトリウムとラジウムを含んだ抽出残渣が発生し、ピットに処分された。

残渣の他に、建屋の改築及び機器交換に伴って発生した廃棄物は採石場跡に投棄された。このため、汚染はピットや採石場跡近辺の土壤にまで広がった。したがって、サイト修復計画対象となった廃棄物は、ピット中の抽出残渣と採石場跡に移動した建築廃材等の瓦礫及び当サイトに残っていた建屋 (約 40 棟) の解体廃棄物と汚染土壤である。その量は、汚染土壤と抽出残渣が約 50 万立方メートル及び金属を含めた瓦礫が約 20 万立方メートルと推定されている。これらを処分するため、容量約 100 万立方メートルの処分場建設が計画されている。

処分場の建設は、1997 年 4 月に始まった。この処分場に廃棄物を定置し、上部カバーを施して修復作業が終了するのは 2002 年頃と見込まれている。

## 2. 処分場

処分の基本的考え方は、ALARA の原則を守りつつ、経済的な負担を最小にすることである。詳細な経過は不明であるが、この基本的考え方に従っ

てウェルドンスプリングサイトの処分場は大部分が地上設置の構造となった。サイトの浄化作業、処分場の建設及び処分作業に必要な費用の総額は、1994 年の推定で約 2 億ドルとなっている。地上設置であるため、地上部のカバーは単なる覆土ではなく、自然界からの浸食防止やラドン放出防止の観点から種々の土壤を組み合わせた構造上の工夫がなされている。以下に処分場の設計基準と処分場構造を紹介する。

### 2.1 設計基準

処分場は汚染物の移行を抑制し、少なくとも 1000 年の間は安定であるよう設計する。この設計寿命を達成するための具体的な要件は次の通りである。

- ①カバー表面は、過去最大の豪雨を仮定した浸食に耐えること
- ②処分場側面と廃棄物定置の仕方は、北米で過去最大の「ニューマドリッド」級の地震に耐えること
- ③処分場は、既知の断層から約 1 マイルは離れており、半径 10 マイル以内の断層は過去 8000 年の間に動いていないこと
- ④カバー表面は竜巻のような強風に耐えること
- ⑤透水係数  $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  で長さ 30 フィートの物質と同等の核種移行抑制効果を有する土壤が、最低でも 20 フィートの厚さで、底面の工学バリアと帯水層の上部との間に存在すること
- ⑥大規模陥没の可能性がない、地質が安定な場所にあること
- ⑦ FEMA (Federal Emergency Management Agency) が指定した「100 年洪水平野 (100 年に 1 回は洪水に見舞われる平野)」から外れた場所にあること。
- ⑧浸出水の集水システムが故障しても、長期間汚染物を隔離し続けること

設計評価シナリオは、

- ①カバーの損傷
- ②浸出水の集水及び除去システムの故障
- ③カバーの変形
- ④地形の変化

であり、いずれの場合も破滅的な状況に至らないという評価結果を得ている。

## 2.2 処分場構造

### (1) 処分セル

処分場は大部分が地上設置となっている。廃棄物を人工バリアで覆う仕組みは、**図-2** に示すように、処分セルと称する人工構築物に廃棄物(Waste) を収納定置するものである。処分セルは、上部を覆う Multicomponent Cover と側面を覆う

Clean-Fill Dike 及び底面を覆う Basal Liner から構成されている。Basal Liner には浸出水を集めて除去するための集水機構(LCRS:Leachate Collection and Removal Systems) があり、浸出水は最終的にパイプを通して集水サンプ(Leachate Collection) に集められる。Basal Liner の下には Low Permeability Soils が敷かれている。

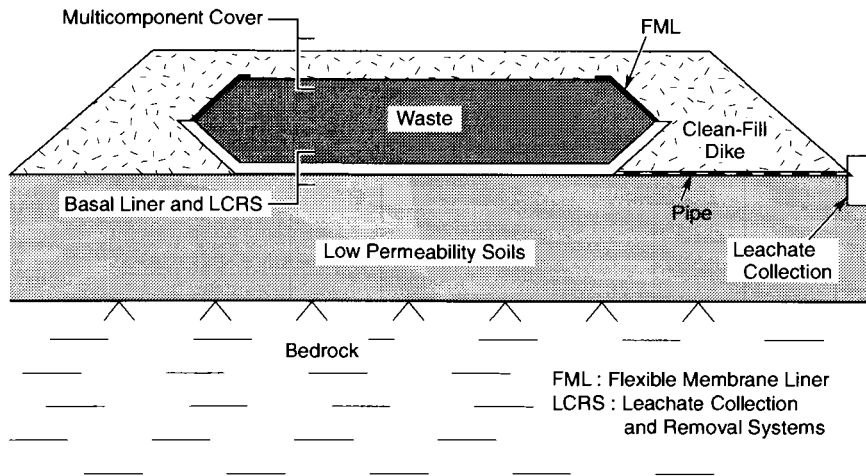


図-2 処分セル

#### 処分セルの規模

容量	約 100 万立方メートル	Basal Liner の厚さ	約 2 メートル
底面積	約 291,000 平方メートル (約 9 万坪弱)	廃棄物定置部分の厚さ	約 6.5~8.5 メートル
地下部深さ	約 1.5~3.6 メートル (集水のため勾配がつけてある)	Multicomponent Cover の厚さ	約 3 メートル
地上部高さ	約 13 メートル		

**図-3** にウラン廃棄物定置中の処分セル全体の鳥瞰図を示す。図は、左側が南の方角で、右側が北の方角となっている。浸出水を集めるために、セル全体に勾配がつけてあり、南側の方を高くしてある。浸出水は北側に流れて集水サンプに集められる。

埋設作業は 3 期に分けて実施される予定であり、図は第 1 期の埋設が終わった時点での想定図である。セルは不規則な六角形をしており、外側を Clean-Fill Dike が取り囲んでいる。北側の Clean-Fill Dike の一部は未施工で、ウラン廃棄物運搬のための車両の出入り口となっている。廃棄物の定

置が終わると、その上に Multicomponent Cover を敷設する。

現時点では、Multicomponent Cover と Clean-Fill Dike に植栽することは考えておらず、セル全体を一種のモニュメントとして、将来世代に対して何か埋まっていることを示すメッセージ機能を持たせようとしている。

廃棄物埋設工事終了後は、処分セルから 15 メートルの位置にフェンスを設け、人の立ち入りを制限することとしている。財産管理のための境界はこのフェンスよりさらに外側に設けられる。

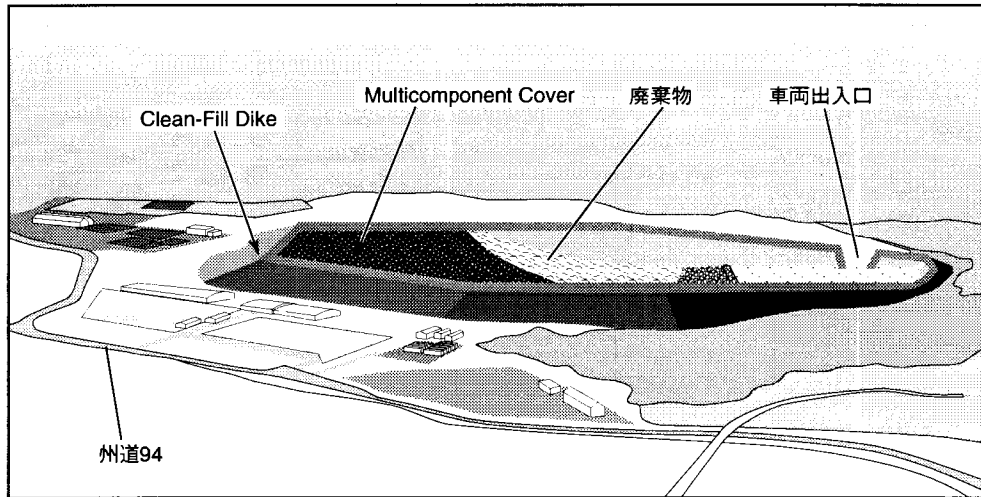


図-3 処分セル鳥瞰図

左手前の建屋は管理事務棟及びスラッジ等の処理建屋である。  
 サイトへのアクセスルートは州道 94 を利用する。

## (2) セルの各部構造

### ① Basal Liner

図-4 に Basal Liner の構成図を示す。Basal Liner は上部の Waste と下部の Low Permeability Soils にはさまれた部分である。Basal Liner の目的は、最低 30 年間はセル底面から浸出水が漏れ出すのを防ぎ、その後は浸出水の漏出量をできる限り少なくすることである。

この目的を達成するため、土壌から成る 2 段の集水機構 (LCRS) と遮水工を組み合わせて設置している。集水機構は、水平方向に勾配をつけた Filter Sand と Drain Gravel (1 次系) 及び Geocomposite (2 次系) 中を浸出水が流れ、パイプを經由して集水サンプルに集まるようにしたものである。水平方向の勾配は、0.01~0.015 となっており、集水のためのポンプは必要ない。Filter Sand は上部に定置した廃棄物から浸出水と共に落ちてくる異物を阻止して Drain Gravel が目詰まりを起こすのを防いでいる。Basal Liner 下部への浸出水の漏出は、2 段の Flexible Membrane Liner (FML) で防止しているが、いつかは破損してしまうので、それに備えて Geosynthetic Clay Liner (GCL) と Compacted Clay Liner (CCL) を設けて、浸出水の漏出を抑えるようにしている。

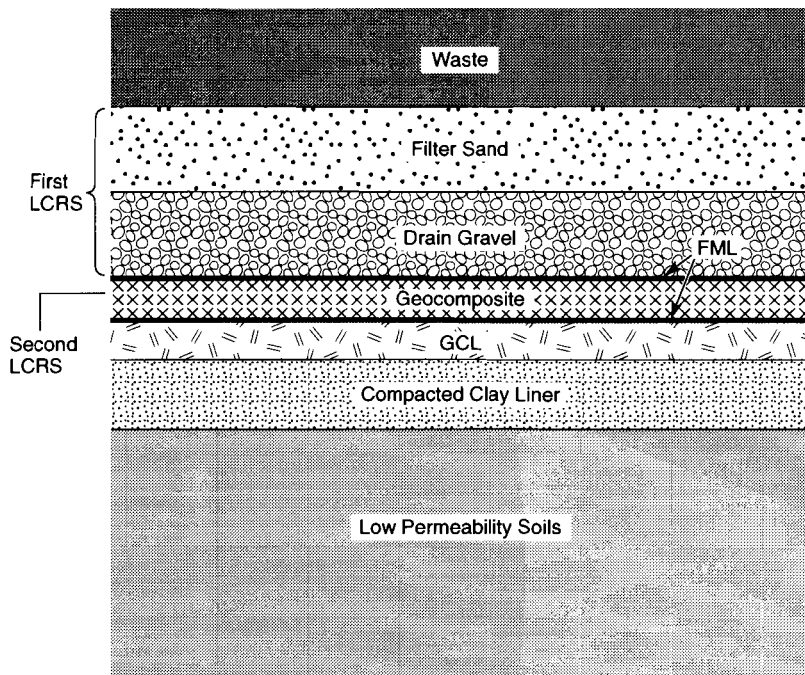
### ② Multicomponent Cover

図-5 に Multicomponent Cover の構成図を示す。Multicomponent Cover は Waste より上の部分である。Multicomponent Cover の目的は雨水が廃棄物と接触して汚染水となることを防ぐとともに、ラドンが大気中に出ていくのを抑制することである。

この目的を達成するため、Riprap Biobarrier と Infiltration/Radon Barrier を設置している。Riprap Biobarrier は、雨水浸入の原因となる浸食、動物による掘り返し及び植物の根の侵入を防止するためのもので大きなゴロ石が主体である。この下には Basal Liner と同じように、Filter Sand、Drain Gravel、Flexible Membrane Liner と Geosynthetic Clay Liner があって集水及び雨水浸入防止機能を備えている。

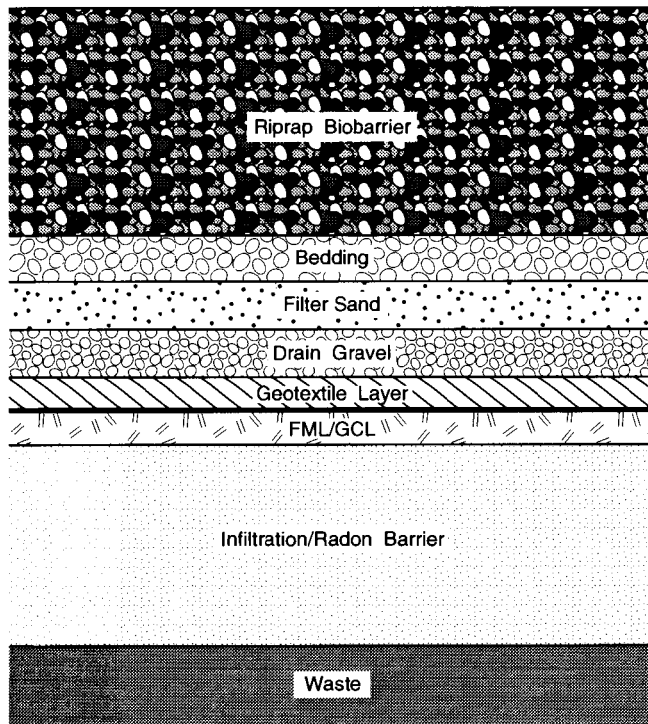
Infiltration/Radon Barrier は、ラドンが大気中に出ていくのを防止するためのもので 40CFR192 で規定されている放出基準値  $20\text{pCi/m}^2\text{s}$  ( $0.74\text{Bq/m}^2\text{s}$ ) 以下となるよう設計されている。

その他に、Riprap Biobarrier 設置時の衝撃荷重を和らげるための Bedding と Drain Gravel 設置時の衝撃荷重を和らげるための Geotextile Layer がある。



GCL : Geosynthetic Clay Liner

☒-4 Basal Liner



☒-5 Multicomponent Cover

### ③ Clean-Fill Dike

図-6 に Clean-Fill Dike の構成図を示す。Clean-Fill Dike は Riprap、Bedding 及び Dike Fill の部分である。Clean-Fill Dike の目的は、雨水が浸入して廃棄物と接触することにより汚染水となることを防止し、汚染のない状態で雨水を

セルの外部に誘導することである。

この目的を達成するため、ゴロ石を表面に配することにより、雨水が表面に沿って流れ落ち易くなり、廃棄物が定置されているセル内部には落ちていかないようにしている。Bedding は衝撃を和らげるためのものである。

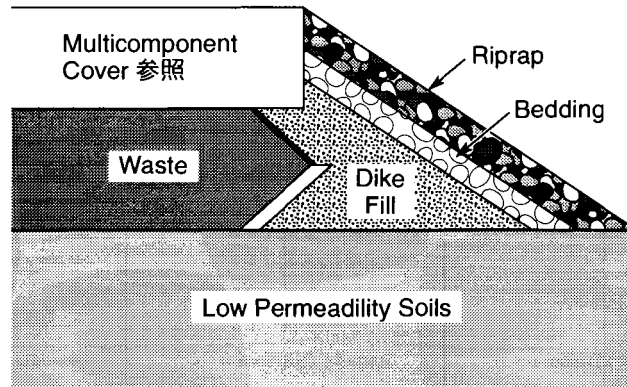


図-6 Clean-Fill Dike

### (3) セル構造の特色

前述のようにセル構造は土壌を主体とした異質の材料を単に積み重ねるだけの簡単な構造であるため建設コストが低くなっている。一方、上記目的を達成するため、下記の機能的工夫がなされている。

- ・処分セルに大規模な陥没やズレ等の変形は起こらないような設計としているが、小さな変形が起こるのは当然のこととして、リジッドな材料は使用せず、フレキシブルな材料が使用されている。
- ・クラックが発生して水みちにならないよう、凍結による体積変化を吸収する材料の使用及び乾燥防止の工夫がなされている。
- ・フレキシブル構造としているため、浸出水が出てくるという前提で、その量をできる限り低く抑えるような土壌の組み合わせとしている。

EPAの規定に抵触して埋め立て処分できないので、化学的な安定化と固化処理（CSS：Chemical Stabilization/Solidification）を実施してグラウトのような物質に変えている。コンクリートや金属片は、処理をせずそのまま埋め立てる。CSS 処理された廃棄物中のウラン濃度は約 24Bq/g である。CSS の水処理設備から出る使用済みフィルタ中のウラン濃度は約 6,800Bq/g である。コンクリートや金属片についての個々のデータはないが、廃棄物貯蔵容器中の様々な廃棄物のウラン濃度は 200Bq/g である。

このような廃棄物の埋め立て順序は、始めにコンクリートや金属片を定置し、次にスラッジや汚泥を処理してできたグラウトを CSS プラントからパイプ輸送してコンクリートや金属片の上にかぶせていく。このような埋め立ては、3 期に分けて実施する。第 3 期には、最後にスラッジや汚泥の処理設備を解体して一緒に埋め立ててしまう。

## 3. 廃棄物処理と定置方法

サイト修復計画策定に際して、ウランを除染回収した方が有利かどうかコスト評価を実施し、その結果除染処理は実施しないことになった。しかし、スラッジや汚泥はそのままでは含水率が高く、

## 4. 廃棄物定置終了後の処置

Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) により、廃棄物を定置して上部カバーを施した後は、30 年間保守すること及びセルカバーの損傷を防ぐため土地利用を制限することが決まっている

が、詳細は DOE が「post-closure plan」で下記に関する事項を決めることになっている。

- ①法規制上の要求事項
- ②サイトの位置
- ③サイトへのアクセス
- ④責任団体
- ⑤サイトの最終状態
- ⑥サイトの検査
- ⑦環境モニタリング
- ⑧カストディアルメンテナンス  
(custodial maintenance)
- ⑨是正措置
- ⑩緊急時対策
- ⑪品質保証
- ⑫報告／記録義務
- ⑬健康と安全

これらは未だ作られていないが、1994年の概念設計報告では下記の項目について簡単に言及している。

- ・セル以外のメンテナンスの対象  
道路、フェンス、ゲート、立て札、植栽
- ・地下水観測用井戸と観測計画  
井戸の数、位置、深さ、分析対象  
濃度制限値、分析頻度  
異常値観測時の措置
- ・セルカバーの健全性に影響を与える事象とそれに対するメンテナンス  
浸食、地震、地盤の変形、植物侵入  
崩壊熱と放射線の放出、

(佐々木朋三)

## センターのうごき

### 第 45 回 理事会開催

- 平成 10 年 6 月 12 日（金）第 45 回理事会が開催され、
1. 平成 9 年度事業報告書及び収支決算書が承認されました。
  2. 次の評議員が選出されました。（平成 10 年 6 月 12 日付）

区 分	退 任	新 任	役 職
評議員	戸田守二	梅田貞夫	日本電力建設業協会会長

### 第 1 回 評議員会開催

- 平成 10 年 6 月 19 日（金）第 1 回評議員会が開催され、
1. 評議員会の設置・運営について了承されました。
  2. 次の役員人事について承認されました。（平成 10 年 6 月 19 日付）

区 分	退 任	新 任	役 職
非常勤監事	中里良彦	金井 努	日本電機工業会会長

### 平成 10 年度調査研究受託状況

平成 10 年 4 月 1 日以降、平成 10 年 8 月末までの間で、次の受託契約が行われました。

委 託 者	調 査 研 究 課 題	契 約 年 月 日
科学技術庁	・低レベル放射性廃棄物処分技術開発等（Phase3）	10. 7.10
	・放射性廃棄物地層処分基準整備調査	〃
	・仏国規制情報調査	〃
	・アルファ廃棄物処分基準整備調査 Phase II	〃
	・低レベル放射性廃棄物限定再利用技術開発	〃
	・返還廃棄物の輸入確認手法調査	10. 8.11
通商産業省	・高レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関するフィージビリティ調査	10. 6.15
	・放射性廃棄物処分高度化システム確証試験	10. 6.16
	・ウラン廃棄物処理処分システム開発調査	〃
	・原子力発電施設解体放射性廃棄物基準調査	10. 6.24
	・低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験	〃
	・低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査	〃
	・TRU 廃棄物処理システム開発調査	〃
	・サイクル廃棄物溶融処理技術開発調査	〃
	・地層処分経済性向上調査	10. 7. 3
電力各社等	・地下水流動予測手法の高度化	10. 5. 7
	・高レベル廃棄物処分の条件変化を考慮した処分システム研究	10. 8.25
	・TRU 廃棄物処分の基本方策に関する研究	〃
高レベル事業推進準備会	・HLW 処分費用の合理的見積りに関する研究（その 3）	10. 6.26

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2 丁目 8 番 10 号 第 15 森ビル

TEL 03-3504-1081（代表） FAX 03-3504-1297