

## 第7章 石棺シェルター【放射線防護壁】解体における環境と放射性廃棄物の管理

チェルノブイリ原発 4 号炉の破壊により、炉内はもとより原発敷地とその近隣地帯（以下 CEZ[Chernobyl Exclusion Zone【立入禁止区域】と略）に放射能汚染と放射性廃棄物<sup>原注1</sup>が発生した。将来における CEZ の発展は、4 号炉の環境に対して安全なシステムへの転換にかかっている。（つまり、NSC【New Safe Confinement 新安全閉じ込め設備】の開発、現在の石棺シェルターの解体、FCM【Fuel Containing Material 核燃料含有物】の除去、そして原発敷地の廃止である。）

特に、4 号炉の長期戦略は、不安定な石棺シェルターを覆う NSC 構造の実現、および原発敷地内や CEZ における関連する放射性廃棄物の管理活動を含む。現在、1～3 号炉（1000 MW の RBMK 型原子炉）は停止され、廃炉を待っている状況である。他の 2 つの原子炉（5、6 号炉）は当時完成間近だったが、事故後 1986 年に廃止された。

本章の内容は、4 号炉の現状と、それに由来する、現在と未来における環境への影響、そしてチェルノブイリ原発敷地と CEZ での放射性廃棄物管理についてである。

原注 1：CEZ の放射性廃棄物はチェルノブイリの原発 1、2、3 号炉の廃炉化に伴う廃棄物を含まない。

### 7.1. 4号炉と石棺シェルターの現状と未来

#### 7.1.1. 事故後のチェルノブイリ原発 4 号炉

1986 年の事故の間、破損した 4 号炉から核燃料のごく一部（過去の推定[7.1]によると 3.5%だが最近の推定[7.2]によると 1.5%）および、かなりの割合の揮発性放射性核種が飛散した。核燃料の残りの部分は事故当時、質量比で 95%を越えており、約 180 t あったが、炉内に残された[7.1]。これらの推定の誤差に関しては 7.1.5 節で述べる。

火事と放射性核種の漏出を制御するため事故後になされた最初の対応として、原子炉の破壊によって形成されたクレーターへの、中性子を吸収する化合物と消火剤の投入が実施された[7.1]。（図 7.1 参照）炉内への投入総量はおおよそ 5000 t で、その内訳はホウ素化合物 40t、鉛 2400 t、砂と粘土 1800 t、ドロマイト 600 t、リン酸ナトリウムおよびポリマー溶液であった[7.1]。

1986 年の 5 月半ば、チェルノブイリ原発敷地内の空間線量率と大気放射能濃度は高レベルであった。それは一帯が、微細化して飛散した核燃料や半減期の短い放射性核種のエアロゾルにより比較的一様に汚染されたためであり、そして飛散した核燃料粒子や破片の存在のためであった。これらの破片は、炉心や原子炉建設材料、そして黒鉛に由来する個々の不均一な物質から構成されてい

る。

事故後、損壊した原子炉建屋のがれきは、炉心の破片などや土壌の表層と共に回収された。この作業により発生した何千 m<sup>3</sup> もの放射性廃棄物はパイオニア壁【pioneer wall】およびカスケード壁【cascade wall】内に封印された。破損した原子炉周囲に建設されたこれらの壁により放射線量は10～20分の1にまで低減した[7.3]。パイオニア壁およびカスケード壁の完成と放射線レベルの低減により、石棺シェルターの建設が可能になった。

石棺シェルターは、破壊した原子炉を環境的に封じ込めるため、作業員が高線量放射線被ばくを受ける条件下、1986年の5月から11月までという極端な短期間中に建設された。しかし、時間とコストをできるだけ節約した建設手順や、構造物内側の高い放射線量のため、破損した古い建築物の安定性に関して信頼性の高い包括的データが得られなくなった。さらに、コンクリート工事の遠隔制御も必要となり、特殊な状況においては溶接までもが不可能になった。

### 7.1.2. 損壊した4号炉と石棺シェルターの現状

石棺シェルター[7.4]は構造材として鉄骨や鉄板を用いて構築されている。その基礎【地階】の一部は4号炉の元の構造物上に設置された。しかし、4号炉の元の構造物の安全状態は、事故後、良く分かっていない。石棺シェルターの基礎の他の部分は、事故以来残っているがれき上に設置されている。従って、石棺シェルター構造の、地震や竜巻等の自然災害に対する安全性に対しては大きな不確実性が存在する。建設時における構造物の安全性に関する不確実性に加えて、石棺シェルターの構造材料は事故後20年間にもたらされた湿気による腐食のため劣化してきている。



図 7.1.: 1986年4月のチェルノブイリ事故で破壊された4号原子炉の写真。[オリジナル]

石棺シェルターの表面には約 1000 m<sup>2</sup>の開口部【割れ目や隙間】がある。これら開口部のため、約 2000 m<sup>3</sup>/年もの降水が、放射能汚染されたがれきに浸透し、4号炉の下層階の各部屋に留まる（図 7.2 参照）[7.5]。4号炉内では凝縮によって発生する約 1650 m<sup>3</sup>/年もの水や定期的に散布される 180 m<sup>3</sup>/年もの粉塵発生抑制液の残留物が、4号炉内のがれきに浸透して建物地階に貯まる。こうして貯留した水は <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr や他の超ウラン元素に汚染され、その平均濃度は <sup>137</sup>Cs が 1.6×10<sup>10</sup> Bq/m<sup>3</sup>、<sup>90</sup>Sr が 2.0×10<sup>9</sup> Bq/m<sup>3</sup>、プルトニウムが 1.5×10<sup>5</sup> Bq/m<sup>3</sup>、そしてウランが 6 mg/L である。貯留水のおよそ 2100 m<sup>3</sup>/年が蒸発し、1300 m<sup>3</sup>/年は基礎部から4号炉の下の土壌へと漏出する[7.6]。現在のチェルノブイリ原発にある放射性廃棄物管理システムは超ウラン元素を含む液状放射性廃棄物を処理できない。

4号炉（図 7.3）内の状態は未だに危険で、作業員や周辺環境にかなりのリスクを与えている。石棺シェルター内での放射線量率は一般的に 2μSv/時から 0.1 Sv/時である[7.5]。現在の4号炉における作業においては、職業人の放射線被ばくが線量限度 20 mSv/年を越えないよう管理されている[7.7]。



図 7.2.: 石棺シェルターの隙間が大気中水分の浸水を許している。[オリジナル]【全部で 1000 m<sup>2</sup>ほどある隙間から雨水（英文では atmospheric water）が 2000 m<sup>3</sup>/年ほど石棺内（特に4号原子炉）に侵入する。この湿気の為に腐食と放射能漏れが進んだ。】



図 7.3.: 事故後の 4 号原子炉の内部の写真。[オリジナル]



図 7.4.: 石棺シェルターの基本構造【工事中的写真から】。(A)パイプルーフ工法 (pipe roofing) の屋根、(B)南側の壁、(C)南側にホッケーのスティックのように貼り出した屋根 (hockey stick)、(D)地下 1 階、地下 2 階の鉄骨梁、(E)巨大な鉄骨梁、(F)タコ足型の鉄骨梁。[オリジナル]

4 号炉は現在の作業期間中、原子炉室の上にある、監視された排気口経由で換気されている。ろ過されていない排気の汚染レベルは、通常大気放出許容値未満だが、排気の汚染レベルが許容値に接近した場合に利用できるろ過装置も設置されている。この換気システムは、外部から石棺シェルター内に入った空気が流れる際に、汚染レベルが次第に高くなるように区画配置されている【汚れた空気は汚染が軽い区域を浄化出来ないが、汚染の少ない空気は汚染の酷い区域を浄化出来る】。

4 号炉とそのカスケード壁には炉心の大型断片を含む FCM が蓄積しており、浸水があれば臨界

に達する可能性もあるが、その種の臨界事故の可能性は低いと考えられる。しかし、もし実際に起こったとしても、4号炉で働く何人かの作業員が数ミリシーベルトの外部被ばくを受けるに過ぎない。なぜなら、作業員は臨界の可能性のある区域に近寄らない傾向があるからである。そのような場合、CEZの内外で深刻な事態には至らないと推測されている[7.5,7.8,7.9]。

近年、石棺シェルターの状況を安定化し、改善するために数多くの作業が実施された。これらに含まれるものは、3、4号炉の換気用煙突の基礎および支柱の修理、B1、B2 ビーム【梁】の補強(図7.4)、核物質防護とアクセス制御システムの改善、総合的自動制御システムの設計(制御対象は建物の構造の状態の管理、地震に対する管理、原子力・放射線に対する安全管理)、粉塵飛散抑制システムの更新、構造安定性の補強である。さらに、石棺シェルターにはガンマ線放射線量、中性子線束、温度、熱流量、水素や一酸化炭素の濃度や湿度、そして構造体の力学的安定性等を監視する目的でコンピュータ制御システムも導入された[7.9]。これらはウクライナおよび支援国<sup>原注2</sup>からの多大な援助を受けて実現した。

将来的に起こり得る石棺シェルターからの放射性核種放出の規模や重大さ(もし石棺シェルターが崩壊した場合)は、石棺シェルター内部から発生しかねない粉塵を含む放射性物質の放射線特性または物理化学的特性に強く依存する。事故から20年経過しようとしている今、粉塵はコンクリート壁や床、そして天井を透過して、エアロゾルという形で大気中に存在する。したがって、石棺シェルター内部の多くの地点で、核燃料を含んだ粉塵は放射線災害の主因とされている。研究[7.5,7.10]によると、これらの粒子の大きさ(空気力学的放射能中央径)は典型的に1~10 μmである。よって、これらの物質はほとんど吸入可能であり、吸入災害の危険性を増大させる。吸入災害の危険性は、石棺シェルターの屋根が崩壊する際に発生する風によって増加する。

もし石棺シェルターが崩壊するなら、継続中の事故復旧努力に悪影響を与えかねず、発生する放射性粉塵雲は有害な環境影響を生ずるだろう。環境中への放出を更に解析する際に特に効くのが、崩壊の結果として発生する粉塵雲内のソースタームをどう仮定するかである。放射性粉塵の環境中への放出予測は、研究によって約500~2000 kgと異なり、そこに含まれ得る微細化して分散した核燃料の量も約8~50 kgと広がりがある。ソースタームの仮定に関わらず、崩壊時に大気中を上昇するほぼすべての物質はCEZ内に沈着すると予想されている[7.11,7.12]。

FCMに関連したもう一つの懸念事項は、FCMが石棺シェルターを出て貯留水経由で地下水に移動する可能性である。4号炉内で固化した核燃料溶融流の表面に明るい黄色のシミとFCMの細くなった断片が発見された事で、FCMが貯留水に溶け込み得ることが確認された[7.3]。その後の分析により、溶解性のウラン化合物の存在が確認された。このFCMは非常に溶解しにくいガラス状の物質と最近まで考えられていた。事実、FCMから放射性核種や<sup>90</sup>Srのような易動性放射性核種が浸出して移動し、プリピャチ川にたどり着く可能性は非常に低いと予測されていた[7.9]。しかし、この現象の重要性は未知のため、石棺シェルターとその周囲における地下水の経過状況を監視することは重要である。

さらなる調査により、地下水位は最近の数年間、最高1.5 m上昇して地表下およそ4 mの深さに達し、今も上昇を続けている可能性が示された。この現象は、地下水によるキエフ貯水池の汚染の可能性を防ぐために4号炉の周囲に建設された、長さ3.5 km、深さ35 mの地下壁に起因すると考えられている[7.9]。

石棺シェルターを原因として起こり得る災害のうち、主なものは、その上部構造が崩壊して放射性粉塵が環境中へ放出されることである。このため、石棺シェルターの屋根の下方に粉塵抑制システムが設置され、定期的に粉塵抑制液や固定液を散布している。このシステムは 1990 年 1 月から稼働しており、この期間に 1000 t 以上もの粉塵抑制液を散布してきた。

原注 2：チェルノブイリ防護壁基金への寄付国は以下の通り：オーストリア、ベルギー、カナダ、デンマーク、EC、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、クウェート、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポーランド、スペイン、スウェーデン、スイス、ウクライナ、イギリス、そして米国。追加的な寄付国は、アイスランド、イスラエル、韓国、ポルトガル、スロバキア、スロベニアを含む。

### 7.1.3. 石棺シェルターの長期戦略と新安全閉じ込め設備

石棺シェルターの崩壊を防ぐため、いくつかの対策が実施されたが、石棺シェルターの不安定箇所を補強し、安定期を 15 年から 40 年ほど伸ばすためにさらに追加的な対策が計画されている [7.13]。その上、現在の石棺シェルターを覆い、より長期的な防護を担う NSC【新安全閉じ込め設備 New Safe Confinement】の建設が計画されている（図 7.5 参照）。この多機能設備は、少なくとも 100 年間運用可能で、ウクライナ政府によって支持されている。この設備の目的は、現存する石棺シェルターの崩壊可能性や、崩壊によって引き起こされる災害を減少させ、放射線防護の改善、そして作業員や周辺環境の安全性を改善し、4 号炉を環境に対して安全な場所にするにある。NSC の建設後、現在の石棺シェルターが解体され、4 号炉から FCM が除去され、そして原子炉の廃止措置が可能になると期待されている。

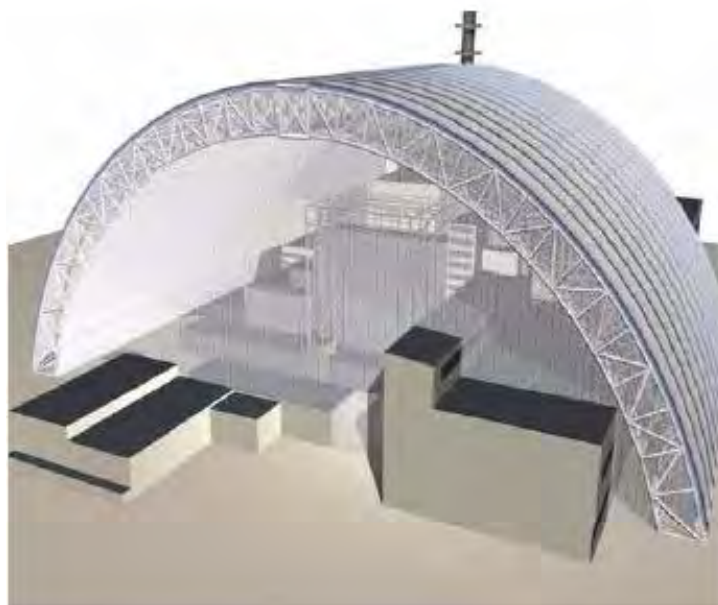


図 7.5.: 新安全閉じ込め設備（NSC）【石棺を更に覆うドーム状】の完成予想図。[オリジナル]

しかし、NSCの建設と運用に関する具体的な運用的側面は、その長期的な維持管理も含めて、いまだに明示されていない。NSCの設計は現在のFCMの撤去計画をベースにしているが、後者は今から50年後に最終地層処分施設が利用可能かどうかによって依存することに注意することは重要である。この活動停止状態の延長により、FCMを安全に除去し処分するための特殊な人的資源が分散する恐れもあるだろう。従って、NSCの建設後、できるだけ迅速にFCMと構造材料とを除去する必要がある。

#### 7.1.4. 環境的側面

##### 7.1.4.1. 石棺シェルターの現状

現在のチェルノブイリ原発敷地周辺における環境汚染の原因は、最初の1986年の事故的放出による放射能汚染、換気システムを経由した石棺シェルターからの定常的な放射性核種の放出、そして、CEZで実施される技術的な活動等がある。チェルノブイリ原発敷地周辺への線量に寄与するCEZ内の主な放射性核種は $^{137}\text{Cs}$ 【セシウム137】、 $^{90}\text{Sr}$ 【ストロンチウム90】、 $^{241}\text{Am}$ 【アメリシウム241】そして $^{239,242}\text{Pu}$ 【プルトニウム239、242】である（3章も参照）。これらの核種の分布状況は7.6図に示されている[7.2]。

##### 7.1.4.2. 大気への影響

現在、石棺シェルターから大気中へのエアロゾル放出源は主に2種あると考えられている。4号炉の中央ホールからの排気換気システムと第2換気煙突を介しての制御された放出、および屋根や壁からの制御不可能な漏出である。第2換気煙突が放出する4~10 GBq/年という量は規制値90 GBq/年の何分の1という小さな量である[7.9]。制御不可能な漏出は、外部構造の開口部の位置や面積、そしてそれらを通る空気の移動速度に依存する。さらに後者が依存する要因には、温度、気圧、湿度、風速、風向等、多数ある。

結果的に、石棺シェルター至近の空気は、微細化して分散した核燃料粒子を含み、その濃度は1km圏内では $^{137}\text{Cs}$ が40 mBq/m<sup>3</sup>に達し、3km付近では2 mBq/m<sup>3</sup>になる。エアロゾル粒子は核燃料に似た放射性核種組成を有し、主なベータ線源は $^{90}\text{Sr}$ と $^{137}\text{Cs}$ とで、アルファ線源はほぼプルトニウムと $^{241}\text{Am}$ とである。石棺シェルター外部における個人の吸入線量は、石棺シェルターからの継続的な【放射能】放出と、最初の事故で放出された物質が再浮遊されたものとの決まる。もし1個人（作業員）が丸1年、石棺シェルター付近で過ごす場合、最近の吸入線量の評価においては、放出による1年間の被ばく量はおよそ0.5 mSvであり、この値は10km以遠で0.0002~0.0005 mSvまで低下するとされている。CEZ圏外における、継続中の【放射能】放出による吸入線量は公衆の制限値をかなり下回っている[7.7]。

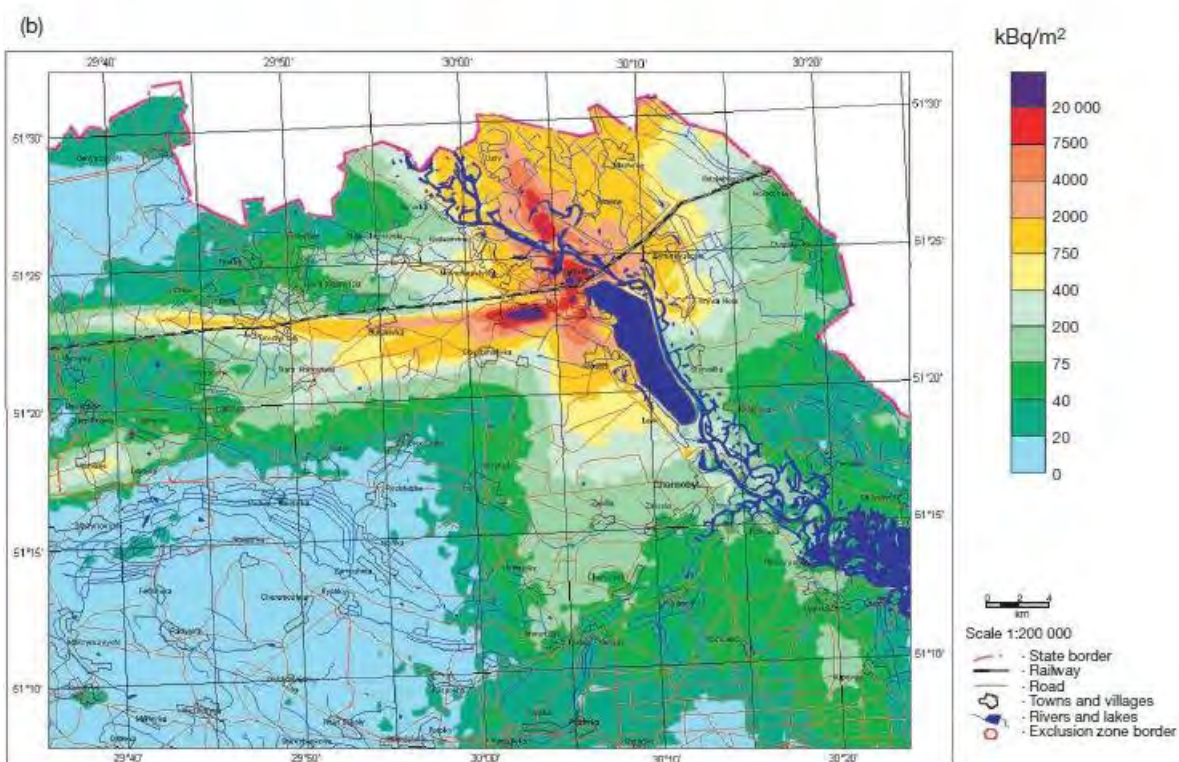
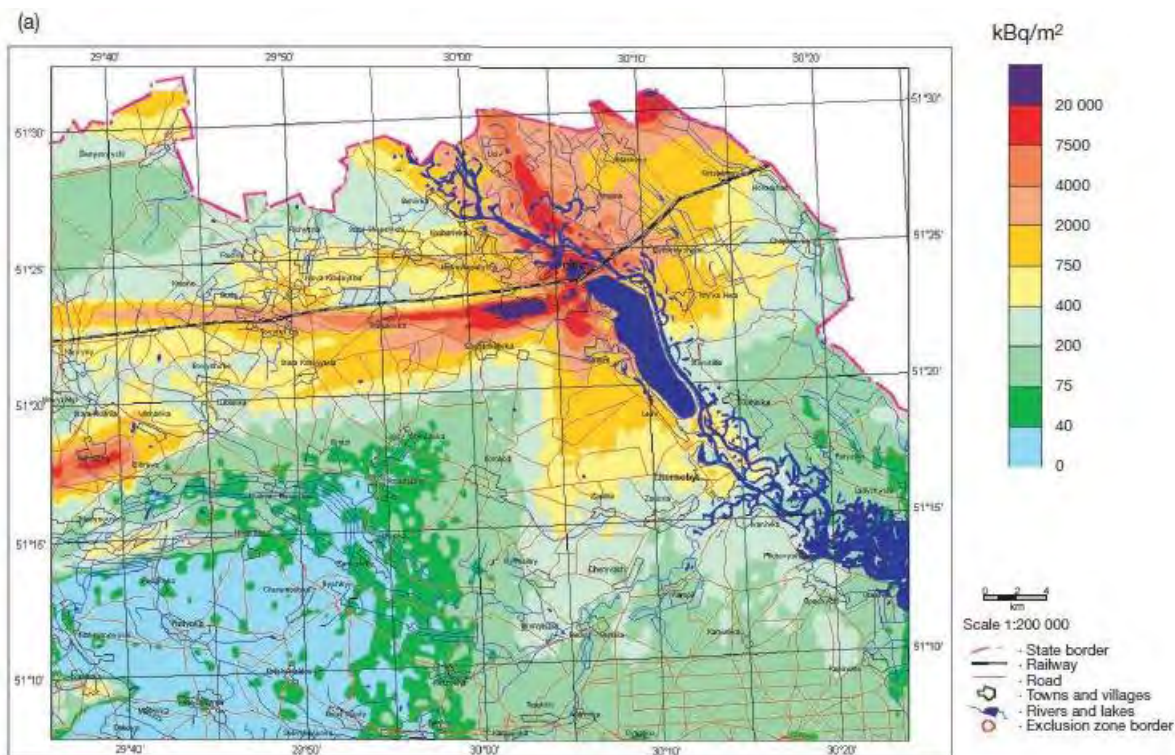
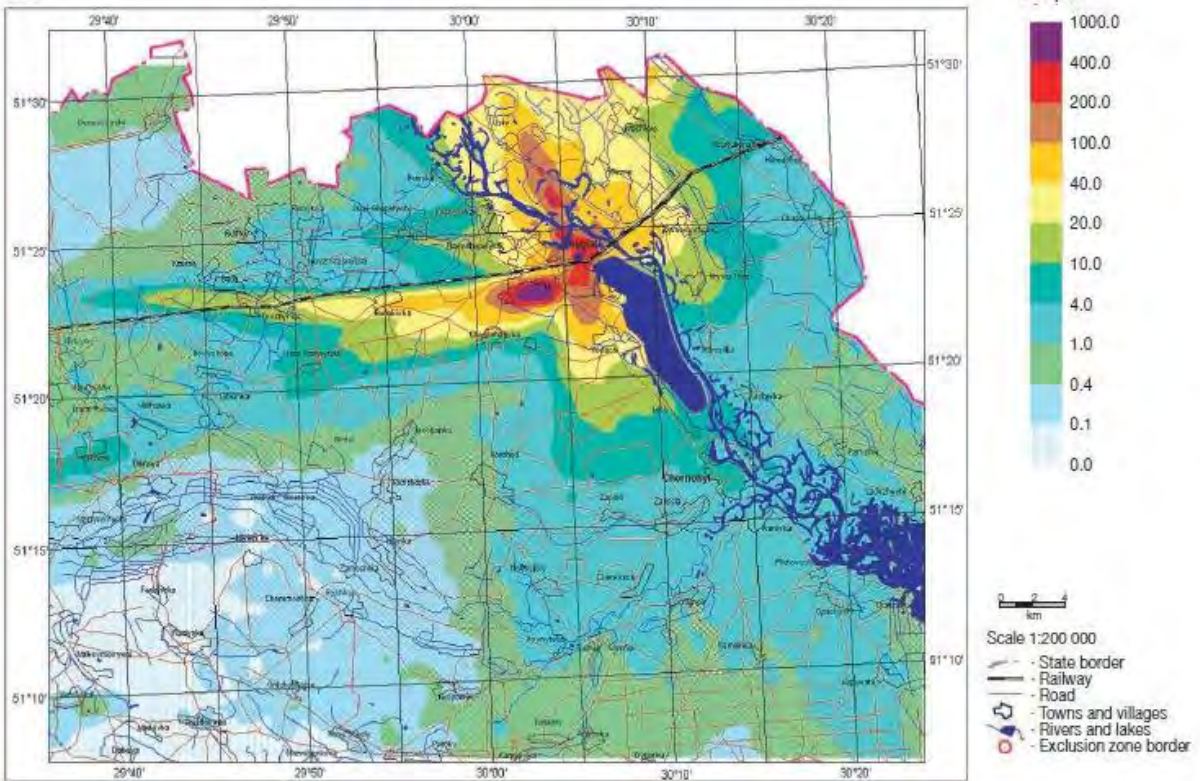


図 7.6.: チェルノブイリ 30km 圏立入禁止区域 (CEZ) でのフォールアウトによる汚染地図。(a)土壌中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度、1997 年測定。(b)土壌中の  $^{90}\text{Sr}$  濃度、1997 年測定。(c)土壌中の  $^{241}\text{Am}$  濃度、2000 年測定。(d)土壌中の  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  濃度、2000 年測定。[文献 7.2 より引用]【単位はいずれも  $\text{kBq}/\text{m}^2$  だが、赤色に対応する値が  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  では  $7500 \text{ kBq}/\text{m}^2$  以上、 $^{241}\text{Am}$  と  $^{239,240}\text{Pu}$  では  $200 \text{ kBq}/\text{m}^2$  以上と違う事に注意。】



(c)



(d)

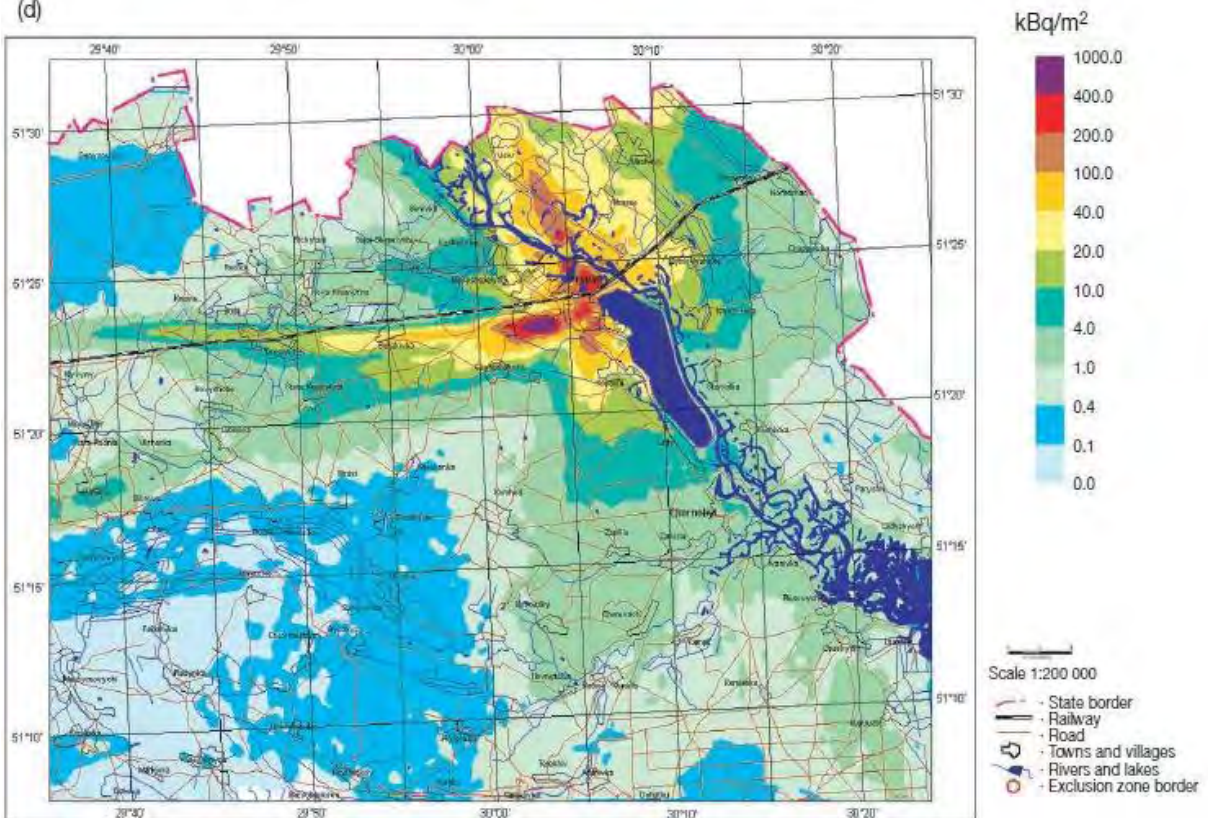


図 7.6.: 続き【赤色に対応する値が  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  では  $7500 \text{ kBq/m}^2$  以上、 $^{241}\text{Am}$  と  $^{239,240}\text{Pu}$  では  $200 \text{ kBq/m}^2$  以上と違う事に注意。】

#### 7.1.4.3. 表層水への影響

放射性核種の、表層水中【河川湖沼中】における平均濃度は低減している。例えば、2003年のプリピャチ川では、0.05（最大0.12）Bq/Lの $^{137}\text{Cs}$ が、そして0.15（最大0.35）Bq/Lの $^{90}\text{Sr}$ が、それぞれ観測されている。CEZを流れる河川での、通常期または高水位期の放射性核種の主な汚染源は、引き続きチェルノブイリ原発敷地のすぐ外縁部の流域からの地表水流、チェルノブイリ原発の冷却池からの浸透水、および重度汚染地域にある古い浄水システムである。冬季や低水位期には、地域の地下水からの放射性核種の流出が、この地域からプリピャチ川への放射性核種の移動の大半を占めている。しかし、全ての地下水から表層水への放射性核種の流出量は未だに比較的低く、暫定放射性廃棄物施設および石棺シェルター地区の地下水の汚染プルーム【汚染された地下水塊の流れ】が、CEZからプリピャチ・ドニエプル河川系への年間総放射性核種流出量に占める割合は、3～10%と評価されている[7.15]。（3.5節も参照）

#### 7.1.4.4. 地下水への影響

地下水の汚染レベルは $^{90}\text{Sr}$ が100～1000 Bq/m<sup>3</sup>【原文では単位がBq/m<sup>3</sup>となっているが、3.5.5.1節や下記によると原発近くで最大1000 kBq/m<sup>3</sup>とあり、kBq/m<sup>3</sup>=Bq/Lの間違いか？】で、 $^{137}\text{Cs}$ が10～100 Bq/m<sup>3</sup>【上記同様、原文では単位がBq/m<sup>3</sup>となっている】だが、その原因はチェルノブイリ原発敷地の表土汚染である。石棺シェルター周辺での地下水の放射性核種汚染ははるかに高い。最近の研究では、地下水の放射性核種汚染の主要な発生源は、降雨の結果、4号炉の地下室内に滞留した水、排水システムがないためパイオニア壁付近に貯留した地下水、そして原発敷地内からの他の水の浸透とされている。

石棺シェルター付近のいくつかの場所では、地表面直下の層の地下水の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は100 Bq/Lに、そして3000～5000 Bq/Lにさえ到達する。しかし、石棺シェルター地区のほとんどでは、地下水の $^{137}\text{Cs}$ 濃度はほぼ等しく、その値は1～10 Bq/Lと変動する。他方、石棺シェルター地区の地下水の $^{90}\text{Sr}$ 濃度は2～160 Bq/Lの範囲で、過去5年間に観測された最大値は1000～3000 Bq/Lである。この地区における超ウラン元素濃度の推定値もまた、 $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239,241}\text{Pu}$ 【 $^{239,240}\text{Pu}$ の間違いか？】が0.003から3～6 Bq/L、そして $^{241}\text{Am}$ が0.001から8～10 Bq/Lという広範囲で変動する[7.16, 7.17]。

#### 7.1.4.5. 新安全閉じ込め設備(NSC)がない場合の石棺シェルター崩壊の影響

石棺シェルターの長期安定性に関心もたれ、その崩壊確率が評価されてきた。崩壊のメカニズムにより、その確率は0.001から0.1/年までの範囲をとる[7.5, 7.18]。従って、NSCの有無を考慮したシナリオに沿って、石棺シェルター崩壊が与え得る影響の解析（文献[7.6]からの要約）が実施された。

##### (a) 大気への影響

石棺シェルターが崩壊すると、細かい粉塵(500～2000 kgまで)からなる大きな雲が巻き上がり、それは $1.6 \times 10^{13}$  Bqの放射能をもつ8～50 kgもの核燃料粒子を含む。その結果、石棺シェルター付

近では新たに 0.4 Sv/年の年間吸入線量が追加される。CEZ 圏外の年間線量は 2 mSv/年に達すると推定されるが、これは従来のウクライナの一般人の線量限度を越えるだろう[7.7]。

CEZ 圏内では、そのタイプの崩壊によって起こる放射性核種の降下堆積は、いかなる場合においても、最初のチェルノブイリ事故による現在の汚染に比べると、ほんの少量であるに過ぎない。典型的な結果が図 7.7 に示されている[7.8]。土壌汚染相対値の最大増加は、風がプルームを石棺シエルター崩壊現場から、最初の事故時に最小の被害を被った地域がある南西方向に運ぶときに発生する。この場合、現状の土壌汚染レベルに約 10%が付加されるであろう。CEZ の外部では、石棺シエルターから 50 km の地点で、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、そして  $^{238, 239, 240}\text{Pu}$  の表面汚染は数%から 10%まで付加されるであろう。

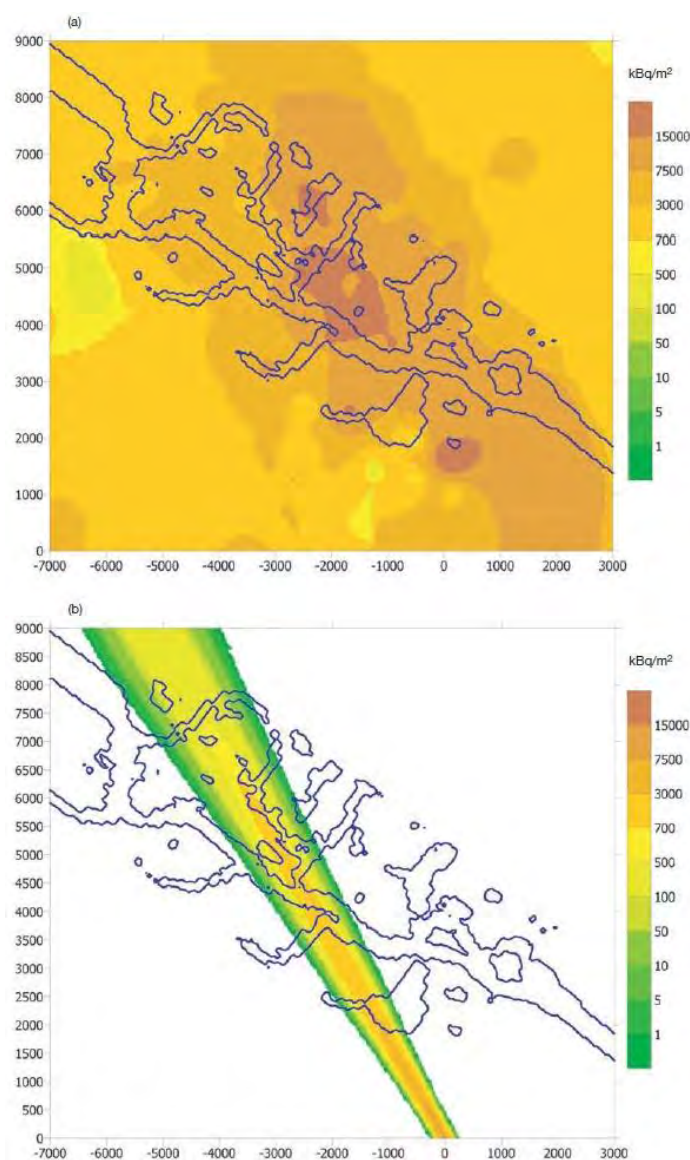


図 7.7.: チェルノブイリフォールアウト後のヤノフ (Yanov) 橋の上流側での土壌中  $^{90}\text{Sr}$  濃度分布地図。(a)1999 年の測定値。(b)石棺が崩れた場合のモデル予想値。縦横軸は南北と東西の石棺からの距離 (m)。[文献 7.6 より引用]【単位は  $\text{kBq}/\text{m}^2$ 。チェルノブイリ 30km 圏立入禁止区域 (CEZ) での影響は現在の汚染よりも小さい (それほど事故による汚染が大きい)。】

## (b) 表層水への影響

石棺シェルター崩壊時には、河川内や河川付近に付加的な放射性物質が降下堆積するであろう。

図 7.7 に示されているように、プリピャチ川への放射性核種の降下堆積は  $^{90}\text{Sr}$  が  $1.1 \times 10^{12} \text{Bq}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  が  $2.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ 、 $^{238}\text{Pu}$  が  $1.6 \times 10^{10} \text{Bq}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$  が  $4.0 \times 10^{10} \text{Bq}$ 、そして  $^{241}\text{Am}$  が  $5.0 \times 10^{10} \text{Bq}$  となる。ドニエプル貯水池でのこれら放射性核種の考えられる最大濃度に関する推定によると、キエフ貯水池での  $^{90}\text{Sr}$  濃度が事故後 41 日目にピークに達し、およそ  $700 \text{Bq/m}^3$  となる。カホフカ貯水池での  $^{90}\text{Sr}$  の最大濃度はおよそ  $200 \text{Bq/m}^3$  かそれ以下だろう。このため、最大の影響を及ぼすような事故が石棺シェルターで起きたとしても、飲用水における  $^{90}\text{Sr}$  の基準値 ( $2000 \text{Bq/m}^3$ [7.7]) を越えないことが確認できる。

シミュレーションできる最悪の事態においても、キエフおよびカネフ貯水池の水が到達し得る  $^{137}\text{Cs}$  の最大可能濃度は飲用水基準値の 3 分の 1 から 10 分の 1 である。その種の崩壊であってもプリピャチ川およびドニエプル川の  $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$ 、そして  $^{241}\text{Am}$  の各濃度に影響しないだろう[7.6]。

石棺シェルター崩壊による【放射能】放出の場合、CEZ 内で最も影響を受ける地区の下流域に住んでいる住民や貯水池の水や魚を消費する住民に関しては被ばく量が多少増大しうる。個人が受ける放射線量は文献[7.6]に論じられており、漁師や典型的消費者が最大量を受けると予測されている。

## (c) 地下水への影響

現存する石棺シェルター内への雨水の浸透と凝結についても研究されている[7.6]。石棺シェルター地下にある大きな水溜り内の放射能の重要性が確認された。この非常に汚染された水は、水溜りからコンクリート壁や床面を透して漏出し、石棺シェルター下の地下水面より上の層や地下水の主要汚染源となっている。現在の条件下では、地下室内の水は、供給バランスがプラスに傾いており、増えている。

NSC 無しの場合の地下水汚染評価の結果は、石棺シェルターから 100 m 未満の地点で  $^{90}\text{Sr}$  濃度がおよそ  $4 \times 10^9 \text{Bq/m}^3$ 、そして同 600 m の地点では  $100 \text{Bq/m}^3$  まで低減することを示している。汚染は 800 年かけてプリピャチ川に到達すると予測されている。だが、石棺シェルターからの  $^{90}\text{Sr}$  の浸透流は、NSC が無い場合でも深刻な影響をプリピャチ川に与えることはないと思われている。

### 7.1.4.6. 新安全閉じ込め設備内で石棺シェルターが崩壊した場合の影響

#### (a) 大気への影響

石棺シェルター上に NSC を配置すると、【石棺シェルターが】崩壊した場合に発生する粉塵の敷地への放出を減らし、結果的に吸入線量を減少させると期待されている。しかも、ほとんどの粉塵は NSC 内に落下し、通常の換気経路以外では、周辺環境に放出されることはないだろう。この粉塵の排出量は NSC の設計に取り入れられる換気と閉じ込め性能に依存すると思われる。NSC の換気システムの性能次第だが、NSC 無しの石棺シェルター崩壊時の線量に比較して、NSC により線量は 7 分の 1～70 分の 1 まで低減できると期待される[7.6]。これにより屋外作業員の被ばくは、NSC 無しの石棺シェルター崩壊時に比べて半減すると期待される。しかし作業員は、崩壊時に NSC 内にいる可能性もあり、その場合、粉塵の閉じ込めにより被ばくが増加するかもしれない。

CEZ 内に住むことを選択した少数の個人の吸入線量は 50 分の 1 から 500 分の 1 まで減少し、1 から 2 mSv を越えることはないと期待されている [7.6]。最悪(95%)の気象条件を仮定し、さらに粉塵雲がスラブティチ【Slavutych】のような大きめの都市上を通過すると仮定した場合でも、NSC 内で崩壊が起こった場合に住民が致死性がんを発症する潜在的リスクは増大しないものと予想されている。

NSC 内での石棺シェルター崩壊による空中への放射性核種の放出や沈着は、現在の土壌汚染に非常に少量の追加効果しか与えないだろう。CEZ 圏内では、放射性核種の沈着は、チェルノブイリ事故そのものによる現状レベルに比べれば、すべての場合においてほんの少量だろう。相対的増加が最大になるのは、風がブルームを石棺シェルターから、元々の事故時に最小の被害を被った南西方向に運ぶ場合であろう。この場合ですら現状の土壌汚染レベルに、0.2%以下の付加的沈着を与えるに過ぎない。

#### **(b) 表層水への影響**

NSC の設置は、石棺シェルター崩壊による表層水上への放射性核種の降下堆積がほぼなくなることを保証すると思われる。図 7.7 に示された降下堆積は 50 分の 1～500 分の 1 まで削減され [7.6]、その結果、下流水の放射能濃度はウクライナの基準値を越えないだろう。

#### **(c) 地下水への影響**

NSC がある場合の、放射性核種の地下水への移動の動態は、NSC の建設 1 年半後に地下室における水位がゼロまで下がることを想定して評価されている。つまり、NSC の建設後、降雨流はほぼなくなり、蒸発流は粉塵抑制剤や凝結に起因する流量より大きくなる。これは、地下室内の水位が壁経由の漏水により下降し、地下室が 2 年以内に空になることを意味している。

### **7.1.5. 課題と改善点**

#### **7.1.5.1. ソースタームの不確実性の環境評価への影響**

4 号炉内の核燃料の残量に関しては、かなりの不確かさがある。1 つの推定によると [7.1, 7.19]、事故時原子炉内に存在した 190 t の核燃料（ウラン）の約 95% が残存している。もう一つの推定では [7.12]、当初の核燃料コアの 60% に加え、使用済み核燃料保管プール【原文では単に decay pool で日本の保管プールとは違うかも知れない】や施設内の中央室内の核燃料(計 212t-FCM【核燃料含有物】の 80 t-飛散した燃料 6 t=126 t 残存)とされている。石棺シェルター内の放射能は 1995 年におよそ  $7 \times 10^{17}$  Bq と推定された。これらや他の研究にも関わらず、今日まで、石棺シェルター内の燃料の量や分布についての包括的な情報は無い。この知識不足は、4 号炉の安全性や環境影響、そして石棺シェルターの変化、の評価を実施する際の重大な【不確定】因子である。関連した放射性廃棄物の長期管理に関する十分な解決法を選択する際も同様である。

### 7.1.5.2. 核燃料含有物【FCM】の特性評価

FCMの物理的状態は時間と共に変動しているようである。FCMは酸化を始めており、酸化率、粒子サイズおよび挙動が未知の微粒子状物質に分解しつつあるように思われる。もう一つの関連した重要な不確実性は、石棺シェルター内の粉塵分布についてであるが、特に、施設を長期間運用する際のNSC内の粉塵分布に関する不確かさがある。長期的な石棺シェルター変化における、(【放射性物質の】輸送や吸入の計算等の)環境への影響評価は、ソースタームのパラメータに関する仮定によって大きく変わるため、これらのパラメータのさらなる研究が必須である。これは、安全性評価の結果や、作業員や一般人、そして環境に対する適切な防護策の選択にあたっての信頼性の向上につながる。

### 7.1.5.3. 核燃料含有物【FCM】の除去と地層処分施設の開発の同時進行

石棺シェルターの安定化とNSCの建設は、かなり大量の長寿命放射性廃棄物を発生させる筈だが、これら廃棄物の中にはFCMを含むものもある。しかし、FCMの除去は、地層処分施設が建設され、始動するまで計画されていない。FCMおよび長寿命放射性廃棄物を安全に管理するには、それらの長期管理戦略が開発されなければならない。

FCMの除去を、地層処分施設が利用できるまで延期する技術的な理由はないと結論できる。FCMの除去は、石棺シェルターの不安定構造物を解体した後に開始し、地層処分施設が利用できるまで、チェルノブイリ原発敷地で放射性廃棄物の処分前の管理や暫定貯蔵を行うことになるだろう。長寿命放射性核種を多く含むため、地層処分施設が開設されるまで待ったとしても、作業員の被ばくに関しては大きなメリットはないだろう。回収する時期が今でも50年後でも、FCMの除去と4号炉地域の復旧には遠隔操作による回収と放射性廃棄物管理技術が必要になる。

## 7.2. 事故起源の放射性廃棄物の管理

チェルノブイリ原発敷地とその近隣地区の除染活動中に発生した大量の放射性廃棄物は、CEZ内で原発敷地から0.5～15 kmの距離(図7.8)に位置する暫定的浅地中廃棄物貯蔵施設に蓄えられている。事故後の除染により発生した放射性廃棄物用に、トレンチ式、または埋め立て式の暫定廃棄物貯蔵施設が1986年から1987年にかけて複数建設されたが、それらの目的は、粉塵の飛散防止、放射線レベルの低減、そして4号炉と周辺での作業条件の改善にあった。しかし、これらの施設は、現代的な廃棄物安全要件として必要な、適切な設計書類、適切に設計施工された防護壁、または水文地質学的調査なしで建設された。

事故後の長い年月において、現存する放射性廃棄物を管理するための系統的な解析と受容可能な戦略を供する目的で、経済および人的資源が拡大された。しかし、幾つかのウクライナの研究[7.20]に報告されているように、チェルノブイリ原発敷地およびCEZでの放射性廃棄物、特に高レベル長寿命廃棄物の管理に関する、広く受け入れられた戦略は、今日に至るまで開発されていない。その理由の一つは、放射性廃棄物貯蔵および処分施設の数や面積が膨大で、精査され、情報が整理さ

れているのはその半数に過ぎないことが挙げられる。この結果、放射性廃棄物データベース（数量、放射能等を含む目録）には大きな不確実性が存在している。

現存する事故起源の放射性廃棄物や、将来の NSC 建設、石棺シェルター解体、FCM 除去、そして 4 号炉の廃止に伴い発生する放射性廃棄物は以下のように分類できる：

- (a) インフラや NSC 建設時に発生する、石棺シェルターや原発敷地からの放射性廃棄物
- (b) チェルノブイリ原発 1～3 号炉の運転に伴い発生した放射性廃棄物と混ざった事故起源の超ウラン廃棄物
- (c) CEZ 内に位置する暫定的放射性廃棄物施設内の放射性廃棄物
- (d) 放射性廃棄物処分施設内に存在している放射性廃棄物

本節では、上記放射性廃棄物の各カテゴリーに関連する安全性・環境問題を取り扱う。チェルノブイリ原発 1～3 号炉の廃炉工事期間中に発生すると思われる放射性廃棄物は別カテゴリーのもので、本報告の対象外である。

現在のウクライナ法は、放射性廃棄物を、表 7.1 に示されているように比放射能と放射毒性に従って分類している[7.21]。

ガンマ線を放つ放射性核種の成分が未特定の混合物で汚染された廃棄物に対しては、距離 0.1m における空間線量率を利用して、表 7.2 に示された、「低」、「中」、そして「高」放射能への分類の使用が許されている。

ウクライナにおける現在の放射性廃棄物管理の実施状況は、上記の分類のすべてに従っているとは言えない。よって、それを新しい基準に適合させるため、対策が実施されつつある[7.21]。

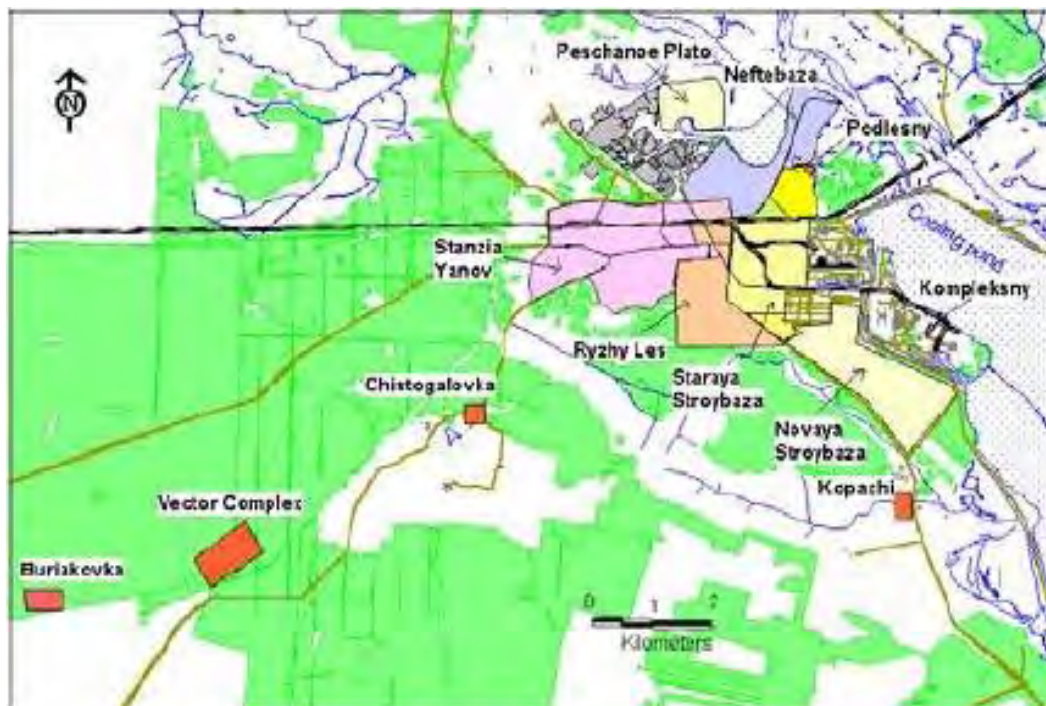


図 7.8.: チェルノブイリ 30km 圏立入禁止区域（CEZ）での放射性廃棄物の臨時廃棄場（地上施設）の位置を示した地図。[オリジナル]【原発から 0.5-15km の位置にある。】

表 7.1. ウクライナの固体放射性廃棄物の分類

	比放射能の範囲 (kBq/kg)			
	グループ 1 <sup>(a)</sup>	グループ 2 <sup>(b)</sup>	グループ 3 <sup>(c)</sup>	グループ 4 <sup>(d)</sup>
低放射能	$10^{-1} \sim 10^1$	$10^0 \sim 10^2$	$10^1 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^5$
中放射能	$10^1 \sim 10^5$	$10^2 \sim 10^6$	$10^3 \sim 10^7$	$10^5 \sim 10^8$
高放射能	$>10^5$	$>10^6$	$>10$	$>10^8$

(a)グループ 1：超ウラン系アルファ放射性核種

(b)グループ 2：アルファ放射性核種(超ウラン系以外)

(c)グループ 3：ベータおよびガンマ放射性核種（グループ 4 以外の核種）

(d)グループ 4：<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C、<sup>36</sup>Cl、<sup>45</sup>Cf【ベータ放射性核種である <sup>45</sup>Ca の間違いか？】、<sup>53</sup>Mn、<sup>55</sup>Fe、<sup>59</sup>Ni、<sup>63</sup>Ni、<sup>93m</sup>Nb、<sup>99</sup>Tc、<sup>109</sup>Cd、<sup>135</sup>Cs、<sup>147</sup>Pm、<sup>151</sup>Sm、<sup>171</sup>Tm、<sup>204</sup>Tl

表 7.2. 距離 0.1m での線量率を用いた比放射能が未知の放射性廃棄物の分類[7.21]

	線量率
低放射能	1～100 μGy/h
中放射能	100～10000 μGy/h
高放射能	>10000 μGy/h

## 7.2.1. 事故起源の放射性廃棄物の現状

### 7.2.1.1. 石棺シェルター関連の放射性廃棄物

石棺シェルターとは「放射能事故後の破壊された 4 号炉」、そして「【事故原子炉の】安定化と【発電所施設の保管施設への】改造の際に生じた未処理の放射性廃棄物の浅地中貯蔵施設」と考えられる[7.22, 7.23]。表 7.3 には石棺シェルター内に存在する廃棄物、がれき、そして他の放射性物質の量とタイプを示した。

さらに、燃料片の堆積や放射性核種でひどく汚染された土壌や事故由来のがれき（金属片、コンクリート片等）が 4 号炉周辺に集積され、貯蔵された。

- (a) 3つのパイオニア壁(石棺シェルターの西側、北側、南側)には汚染された土壌、コンクリート、そして容器が貯蔵され、そこには高レベル廃棄物<sup>原注3</sup>が最大 1700～4900 m<sup>3</sup>、低および中レベル廃棄物が最大 72000 m<sup>3</sup>含まれると推測されている[7.25, 7.26]。
- (b) 石棺シェルター北側にあるカスケード壁には炉心破片、金属、コンクリート、炉心ピット装置、そして事故遮蔽材が貯蔵されている（16600 m<sup>3</sup>の高レベル廃棄物、117 tの炉心破片部、そして 53400 m<sup>3</sup>の低および中レベル廃棄物） [7.25]。
- (c) 石棺シェルター周囲の工業地区にはコンクリート、砂利、砂、粘土と汚染された土壌が貯蔵され、7000 m<sup>3</sup>の高レベル廃棄物および 28600 m<sup>3</sup>の低・中レベル廃棄物が貯蔵されている[7.27]。他の調査によると、燃料、黒鉛等が汚染土壌中に存在している[7.26]。



表 7.3. 石棺シェルター内に存在が推測される汚染物質の一覧[7.25]

	放射性廃棄物のタイプと 評価基準	放射性廃棄物の 分類	量
FCM (核燃料含有物質)	未使用燃料集合体、使用済み燃料集合体、熔融タイプ物質、燃料片、放射性粉塵	高レベル	約 190~200 t、700 t の黒鉛
核燃料質量比 1% 以下の固体放射性廃棄物	10 cm での線量率 10 mSv/時以上の線量率の炉心断片		
液体放射性廃棄物	降雨によりデータベース対象が変わる (例：パルプ、油類、可溶性ウラン塩含有の懸濁液)	低レベル < 370 kBq/L	2500~5000 m <sup>3</sup>
		中レベル >370 kBq/L	500~1000 m <sup>3</sup>
固体放射性廃棄物	金属製装置と建築材料、例えばコンクリート、粉塵、非金属材料 (有機性、プラスチック)	高レベル	38000 m <sup>3</sup> (建築材料) 22240 t (金属構造物)
		低~中レベル	300000 m <sup>3</sup> (建築材料と粉塵) 5 000 m <sup>3</sup> (非金属)

パイオニア壁およびカスケード壁内の放射性廃棄物は、後にコンクリートで遮蔽された。この廃棄物は高レベル廃棄物と見なされ、浅地中処分施設では受容できない。処分しようにも簡単には回収できないので、これらの壁内から回収される放射性廃棄物は 4 号炉廃止用の全体戦略の一部になっている。

現在または今後見込まれる 4 号炉起源の放射性廃棄物は、ウクライナ法によると、短寿命低・中レベル廃棄物 (NSC 建設時に出る土壌、建築材、コンクリート、金属製構造物等) および FCM 等の高レベル廃棄物に分類されるであろう [7.28, 7.36]。

原注 3：高レベル廃棄物はさらに 2 種類に小分類される：発熱率 2 kW/m<sup>3</sup> 以下の低温廃棄物および発熱率 2 kW/m<sup>3</sup> 以上の発熱廃棄物である [7.24]。

#### 7.2.1.2. 事故起源廃棄物と正常運転起源放射性廃棄物の混合

1986~1993 年の期間中、一部の低・中レベル廃棄物と超ウラン元素を含む高レベル廃棄物は、1~3 号炉の運転により生成された放射性廃棄物の一部と共に、チェルノブイリ原発敷地内のある地上貯蔵施設内 (図 7.9 参照) に貯蔵された。

この廃棄物は、総量約 2500 m<sup>3</sup>、総放射エネルギー約 131 TBq あり、未処理のまま貯蔵された。貯蔵施設が満杯になった時は、放射線量と漏水を低減させるためにコンクリートグラウトで裏込めされ、コンクリート屋根で覆われた。従って、この施設に貯蔵された放射性廃棄物は簡単には回収できないため、特別な注意が必要である。実際、その種の回収計画が現在研究下にある。現在、この施設は、1~3 号炉の廃止工事中に発生する放射性廃棄物処分に利用する意図の下、拡大されつつある。

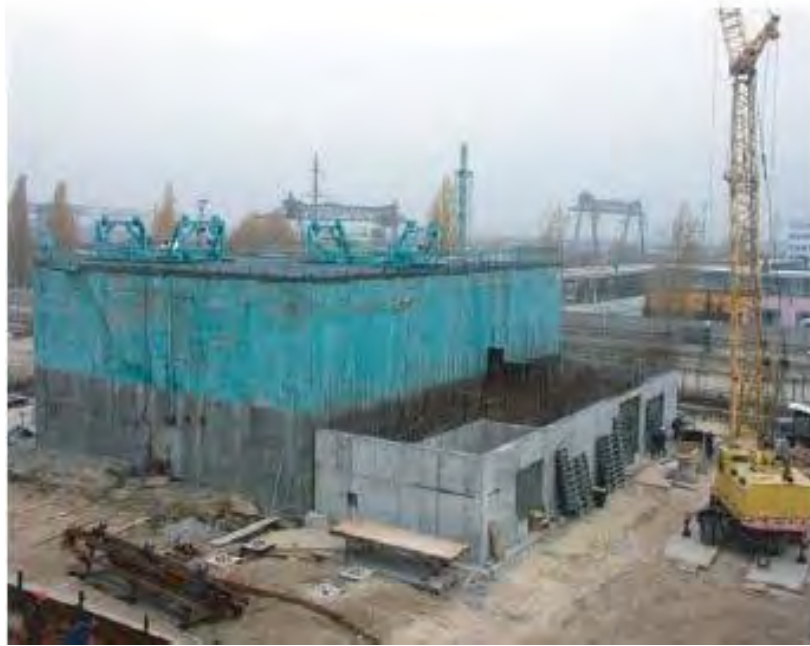


図 7.9.: チェルノブイリ原発敷地内の放射性固体廃棄物の一次保管施設（地上施設）の写真。[オリジナル]

表 7.4. 暫定放射線廃棄物施設の現状[7.19, 7.29]

施設名	面積	トレンチ数	埋め立て数	放射性廃棄物タイプ	放射性廃棄物体積	全放射能
<i>放射性廃棄物目録（データベース）が整備された施設</i>						
Neftebaza（石油基地）	53 ha	221	4	土壌、植物、金属、コンクリート、レンガ	$104 \times 10^3 \text{ m}^3$	$40 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Peschannoe Plato（砂平地）	78 ha	2	82	短寿命 <sup>(a)</sup> 低・中レベル廃棄物（土壌、がれき、コンクリート）	$57 \times 10^3 \text{ m}^3$	$7 \times 10^{12} \text{ Bq}$
<i>放射性廃棄物内訳が部分的に調査された施設</i>						
Stantzia Yanov	128 ha	既知>36	—	土壌、植物、金属、コンクリート、レンガ	$30 \times 10^3 \text{ m}^3$	$>40 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Ryzhy Les	227 ha	推定>61	推定>8	主に土壌、建築・家庭用材料	$500 \times 10^3 \text{ m}^3$	最大 $400 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Staraya Strobaza	130 ha	>100	—	土壌、金属、コンクリート、木材	$171 \times 10^3 \text{ m}^3$	$1000 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Novaya Strobaza	122 ha	—	—	土壌、植物、金属、コンクリート、レンガ	$150 \times 10^3 \text{ m}^3$	$200 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Pripyat	70 ha	—	—	汚染された車両、機械、木材、建築廃棄物	$16 \times 10^3 \text{ m}^3$	$30 \times 10^{12} \text{ Bq}$ (1990)
Chistogalovka	6 ha	—	—	ビル解体時の廃棄物、土壌、木材、作業着	$160 \times 10^3 \text{ m}^3$	$4 \times 10^{12} \text{ Bq}$
Kopachi	125 ha	—	—	ビル解体時の廃棄物	$110 \times 10^3 \text{ m}^3$	$30 \times 10^{12} \text{ Bq}$

(a)ウクライナ法によると、短寿命廃棄物とは処分後 300 年以内に行行政監督の必要が無くなる放射性廃棄物である。他方、長寿命廃棄物とは処分後 300 年以上行政監督を必要とする放射性廃棄物である[7.21]。

### 7.2.1.3. 暫定放射性廃棄物貯蔵施設

4号炉除染時に発生した放射性廃棄物のうち、最大量がCEZ内に置かれている(図7.8参照)。事故直後、トレンチ式および埋め立て式の暫定貯蔵施設が原発敷地から0.5~15 kmの距離に作られた。それらは1986~1987年の間に、粉塵飛散の防止や4号炉における放射線量の低減と作業条件の改善のために実施された汚染地域の浄化の結果、事故後に発生した放射性廃棄物を貯蔵することを目的として建設された。これらの施設は、設計書類も人工防護壁も、そして水文地質学的調査もなく建設された。

暫定放射性廃棄物施設の全面積はおよそ8 km<sup>2</sup>で、処理された放射性廃棄物の全量は10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>を越えると推測されている。放射性物質の主要部分は、チェルノブイリ放射性降下物が西側に落下した領域沿い(図7.8参照)にあるストロイバザ【Stroibaza】とリジーレス【Ryzhy Les】の暫定放射性廃棄物施設に集積されている。リジーレスの暫定放射性廃棄物施設における放射性物質の濃度は<sup>90</sup>Srと<sup>137</sup>Csがそれぞれ10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup> Bq/kgでプルトニウム同位元素が10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup> Bq/kgである(合計値)。

施設のほとんどは、現地の砂質土壌に深さ1.5~2.5 mのトレンチを掘ったものである。放射性物質(土壌、ゴミ、木材、そして建築物のがれき)は厚さ0.2~0.5 mの沖積層の砂で覆われている。大多数の暫定放射性廃棄物施設は、地質学的な環境は多様で、そこにトレンチが掘られ、廃棄物の上に、近場から運ばれた土壌を多層に敷いて遮蔽している。従って、これらの施設からの放出可能性は、貯蔵された全放射能、廃棄物の形状(特に木材)、放出後の移動経路沿いの地層の保持力、そして施設の敷地の水文地質学的環境に依存し、そのため各施設の放出可能性も様々である。これらの暫定放射性廃棄物施設の少なくとも半数は調査されてきた(表7.4参照)[7.19,7.29]。

さらに多数の暫定放射性廃棄物施設があり、およそ800ものトレンチ式施設がそれぞれ8×10<sup>2</sup>~2×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>の範囲の廃棄物の処分容量を有している[7.29,7.36]。これらの施設に関するデータは、その半数に関しては知られている。そして、これらは行政監督されていない。いくつかの施設に関する推定によると、それらの放射能は高く(10~1000 TBq)、時としてCEZ内の土壌中の総放射能(およそ7000 TBq)と桁が同程度と推測されるほどである。

### 7.2.1.4. 放射性廃棄物処分施設

事故起源廃棄物の主だった処分施設はブリアコフカ【Buriakovka】、ポドレズニー【Podlesny】とコンプレクスニー【Kompleksny】にあり、行政監督されている。これらの浅地中処分施設は事故後1年間の除染活動中に発生した放射性廃棄物用に設置された。これらの用地は、暫定放射性廃棄物施設のものより高レベルの事故起源廃棄物処分に選抜され、設計された[7.19]。

1987年に建設されたブリアコフカのものは、現在CEZ内で稼働中の唯一の施設で、23.8 haの敷地に30のトレンチを掘り、厚さ1 mの粘土で覆ったものである。最大652800 m<sup>3</sup>までの放射性廃棄物が処理されてきた。これが現場で530000 m<sup>3</sup>まで圧縮され、総放射線量2.5×10<sup>15</sup> Bqの固体短寿命低・中レベル廃棄物になる。それらの組成は金属、土壌、砂、コンクリートと木材で、<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs、<sup>238,239,240</sup>Pu、<sup>154,155</sup>Euそして<sup>241</sup>Amで汚染されている。この施設では、表面から10 cmでの線量率が0.003~10 mGy/hの範囲の放射性廃棄物が受け入れられた。

ポドレズニーのドーム型【または地下房型】処分施設は1986年12月に始動し、1988年に閉鎖された。この施設は、表面から10 cmでの線量率が0.05~2.5 Gy/hの範囲の高レベル廃棄物用に設計されたが、より高い線量率をもつ物質も処分された。2つのドーム【または地下房】には、総体積11000 m<sup>3</sup>もの建材、金属がれき、砂、土壌、コンクリートや木材が収められている。閉鎖時に、処分施設はコンクリートで遮蔽された。1990年には、処分された放射性廃棄物の総放射エネルギーは2600 TBqと推測された。しかし、2002年に実施された施設の再評価によると、この施設で処理された放射性廃棄物の総放射エネルギーは当初の想定を越え得るという根拠が示され、現在の廃棄物リストを再推測する必要性が確認された。廃棄物リストに不確かさがあるため、FCMを含む多様な種類の廃棄物が処分されたものと推測されている。

コンプレクスニーにあるドーム型処分施設はチェルノブイリ原発敷地にある未完成の5、6号炉から作り替えた施設が基になっている。コンプレクスニー施設は1986年10月から1988年まで稼動し、廃棄物容器の表面から10 cmにおける線量率が0.01 Gy/h以下の低・中レベル廃棄物用に設計された。全放射エネルギー4×10<sup>14</sup> Bqを有する26200 m<sup>3</sup>以上の固形廃棄物が、18000個の容器に入れられ、砂と粘土で遮蔽されて処分された。この廃棄物は主に砂、コンクリート、金属、建築材料とレンガだった。季節毎に上昇する地下水の水位のため、施設は底から0.5~0.7 mの高さまで浸水する。この用地で処分された放射性廃棄物についてのデータが不足しているため、放射性核種のリストにもかなりの不確かさが存在する。

現在、ヴェクター・コンプレクスという低・中レベル放射性廃棄物加工・貯蔵・処分用の浅地中施設を開発中である。このコンプレクスの内容は以下の通りである：

- (a) 全タイプの固形放射性廃棄物が処理可能な工学施設（能力3500 m<sup>3</sup>/年）
- (b) 短寿命固形放射性廃棄物の処分施設（合計能力55000 m<sup>3</sup>）
- (c) 長寿命固形放射性物質の貯蔵施設
- (d) FCM用の貯蔵施設
- (e) 高レベル処理済み放射性廃棄物を高深度処分施設に最終処分する前の中間貯蔵施設

### 7.2.2. 放射性廃棄物の管理戦略

現在のところ、4号炉をさらに解体したり、浄化する計画はない。しかし、NSC建設や石棺シェルターの不安定構造の解体段階においてどの程度の放射性廃棄物が発生するか、そしてそれらの管理にどのような選択肢があるかに関する評価は実施されてきた。準備段階においてはおよそ390 tの固形放射性廃棄物および280 m<sup>3</sup>の液体が発生するものと予測されている[7.6]。また、4号炉周辺の100 000 m<sup>3</sup>もの汚染された土壌は、燃料片をいまだに含む可能性があり、除去する必要がある。石棺シェルターの上部構造の解体のための予備調査によると、1200 tの鋼鉄や推定1800 m<sup>3</sup>の、主として金属や大きなコンクリート片からなる放射性廃棄物の除去が必要と予測されている[7.14]。これらの廃棄物はその放射線レベルにより分けられる計画である。高レベル廃棄物はほんの一部に過ぎないと期待されるが、計画では容器に収納後、NSC内に貯蔵される。

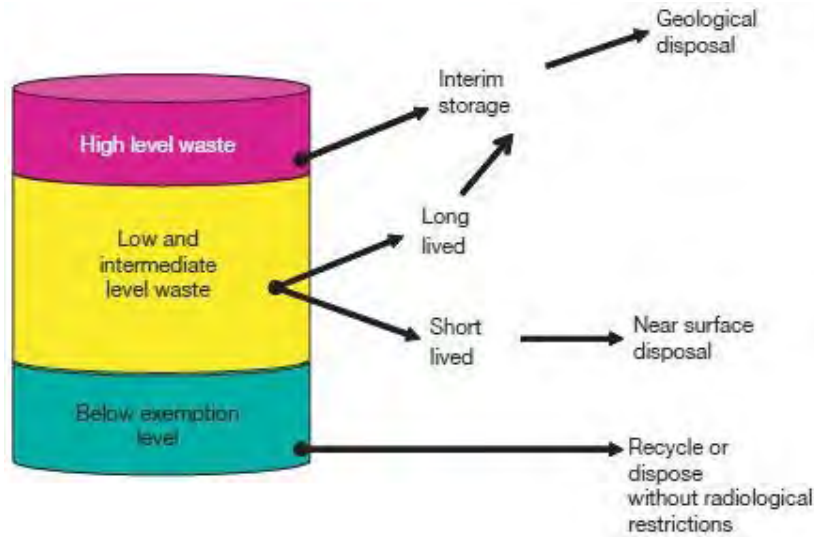


図 7.10.: チェルノブイリ原発敷地における放射性廃棄物の廃棄・処理計画。[文献 7.19 より引用]  
 【低濃度汚染物（基準値以下、下の部分）のみがリサイクルに回り、高濃度汚染物（上の部分）は一次的な保管のあとに地下深くに捨てる予定となっている。中程度の汚染物（真ん中）は半減期によって、地下深く(高濃度汚染物と同様)か地下浅い所への廃棄に分けられる。】

ウクライナ法[7.31]では、全ての放射性産業廃棄物は、図 7.10 に示されたスキームに沿って分類される：高レベル長寿命放射性廃棄物は深地層処分場で処分されなければならないし、低・中レベル短寿命廃棄物は浅地中処分場で処分される。1986 年の事故に起因する放射性廃棄物、特に高レベル長寿命のもの管理戦略は、これらの基準に従って開発されなければならない。

低レベル廃棄物に対して計画されているオプションは、廃棄物を物理的特性（土壌、コンクリート、金属等）に従って仕分けし、できれば除染し、そして/あるいは有益な再利用（NSC 基礎部の土壌再利用、金属片の溶解）のために処理するか、またはブリアコフカ処分施設[7.19]やヴェクター処分場の新規拡張部に送って処分することである。

他方、長寿命廃棄物は中間貯蔵所に置く計画である。チェルノブイリ原発敷地やヴェクター施設では、異なる貯蔵オプションを考慮中であり、結論には至っていない。NSC 完成後には、石棺シェルターの解体や FCM のさらなる除去を含めた石棺シェルター関連施設の廃止が予想される。高レベル廃棄物は部分的に現場で処理され、深地層処分施設が利用できるまで、暫定貯蔵所に保管される。現在この戦略は、高レベル放射性廃棄物と FCM に対する好ましいオプションとして考えられている[7.19]。本戦略の実施に際し、現在建設中のヴェクター施設コンプレックスで高レベル長寿命放射性廃棄物を加工処理し暫定貯蔵するシステムを組織的に実現化する計画がある。ヴェクター施設がフル稼働した時には、NSC で覆われた石棺シェルターから FCM と他の放射性廃棄物を回収する作業を始動させられる。

この種の戦略的アプローチは、ウクライナ政府が承認した放射線廃棄物管理[7.25]に関する包括的プログラムにかいま見る事ができる。その種のプログラムを練り上げる前には、特別なフィールド調査や地質調査を、CEZ 地区とその周辺、特に 500 m 以上の深度をもつ結晶質岩が存在する地域

で実施しなければならない。文献[7.25]によれば、2006年にこの地域に地質学的に最適な用地を探索するための調査を始動させることは合理的であると考えられている。そのような計画に沿い、深地層（高深度地下）処分施設は2035～2040年の期間以前に完成されるかもしれない。

将来的に石棺シェルター起源の放射性液状廃棄物は、チェルノブイリ原発敷地内の新しい放射性液状廃棄物処理工場で管理される計画になっている。しかし、超ウラン元素を含む液状廃棄物の管理は解決されるべき問題として残されている。

これらに加え、事故起源の放射性廃棄物の管理戦略では、事故後の最初の数ヶ月間に使用されて最終処分法が未決定である約2000もの汚染された装備（輸送車、ヘリコプター、戦車等）を収容している他の貯蔵場についても、その管理も考慮すべきである。

### 7.2.3. 環境的側面

CEZ内のほとんどの暫定放射性廃棄物処分施設の安全性に関しては、これらの施設が、地表面の $^{90}\text{Sr}$ レベルが $400\sim 20\,000\text{ kBq/m}^2$ 、 $^{137}\text{Cs}$ が $700\sim 20\,000\text{ kBq/m}^2$ 、そして $^{239,241}\text{Pu}$ が $40\sim 1000\text{ kBq/m}^2$ という非常に汚染された地域に存在するという状況を踏まえて考察される必要がある。同一地域内で、複数の暫定放射性廃棄物施設が、それぞれ数メートルの土壌と他の地質材料によって遮蔽された比較的少量の容積を占有している。

増大する地下水汚染の危険性と、それが将来、水の供給に利用されている主要水源に到達する可能性は重大な懸念事項である。仏独イニシアチブで報告された測定[7.32]（表7.5参照）は、いくつかの暫定放射性廃棄物施設が地下水に深刻な影響を及ぼしていることを明らかにした。特に、完全にまたは部分的に浸水したトレンチは、工学的安全機能の設計不足により、放射性核種の流出が増加している。ブリアコフスカ施設のような、より好ましい環境条件下にあれば、放射性核種の放出変動を低減でき、地下水の放射能濃度を比較的低レベルに維持できる。

年間の一時期、いくつかの暫定放射性廃棄物施設では地下水面が非常に接近したり施設内まで上昇して、それが放射性核種の分散に影響する。トレンチ、または埋め立て地での地下水面の水位は深さ1～7mほどであり、季節によって変動することが注目される。スタンジア・ヤノフ【Stanzia Yanov】およびネフテバザ【Neftebaza】の施設は常に部分的に冠水している。冠水は、コンプレクスニー(Kompleksny) 処分施設においても重要な関心事である。ここでは廃棄物容器が処分施設の基底部から0.5～0.7mの位置まで浸水している[7.19]。これらの処理施設での汚染程度は1986～1989年に導入された監視システムを使ってモニターされており、システムのアップグレードが必要である。

暫定貯蔵施設周辺での地下水汚染のモニタリング結果によると、 $^{90}\text{Sr}$ の濃度は $100\sim 100\,000\text{ Bq/m}^3$ [7.19, 7.33]の範囲であった。濃度の最高値はチェルノブイリ原発敷地の北部で検知されたが、そこからの地下水はプリピャチ川に注いでいる。従って、河岸の直近の沖積土壌中に位置し、高水位期に定期的に冠水の危険性がある放射性廃棄物施設では、放射性核種による、実際あるいは潜在的な影響【つまり放射性物質の漏出】が存在する[7.20, 7.32]。これらのタイプの処分施設は過

去 5 年間調査され現在も調査が継続されており、将来的に廃棄物を【これら沿岸施設から】順次回収して【安全な場所に】適切に設置された処分施設へ段階的に移動させる為の根拠となろう。

表 7.5. いくつかの暫定放射性廃棄物貯蔵施設付近の 1994～1995 年[7.16]と 1999 年[7.23]における地下水汚染【単位は Bq/L】

施設名	ストロンチウム 90		セシウム 137		プルトニウム 239, 240
	1994～1995	1999	1994～1995	1999	1994～1995
Ryzhy Les (赤い森に位置)	100～120000	100～230	0.1～100	0.1～2.5	0.4～0.6
Stroibaza	3～200	30～50	1～20	0.02～0.004	データなし
Peschannoe Plato (砂平地に位置)	3～10	2～40	0.7～3	0.02～0.1	データなし

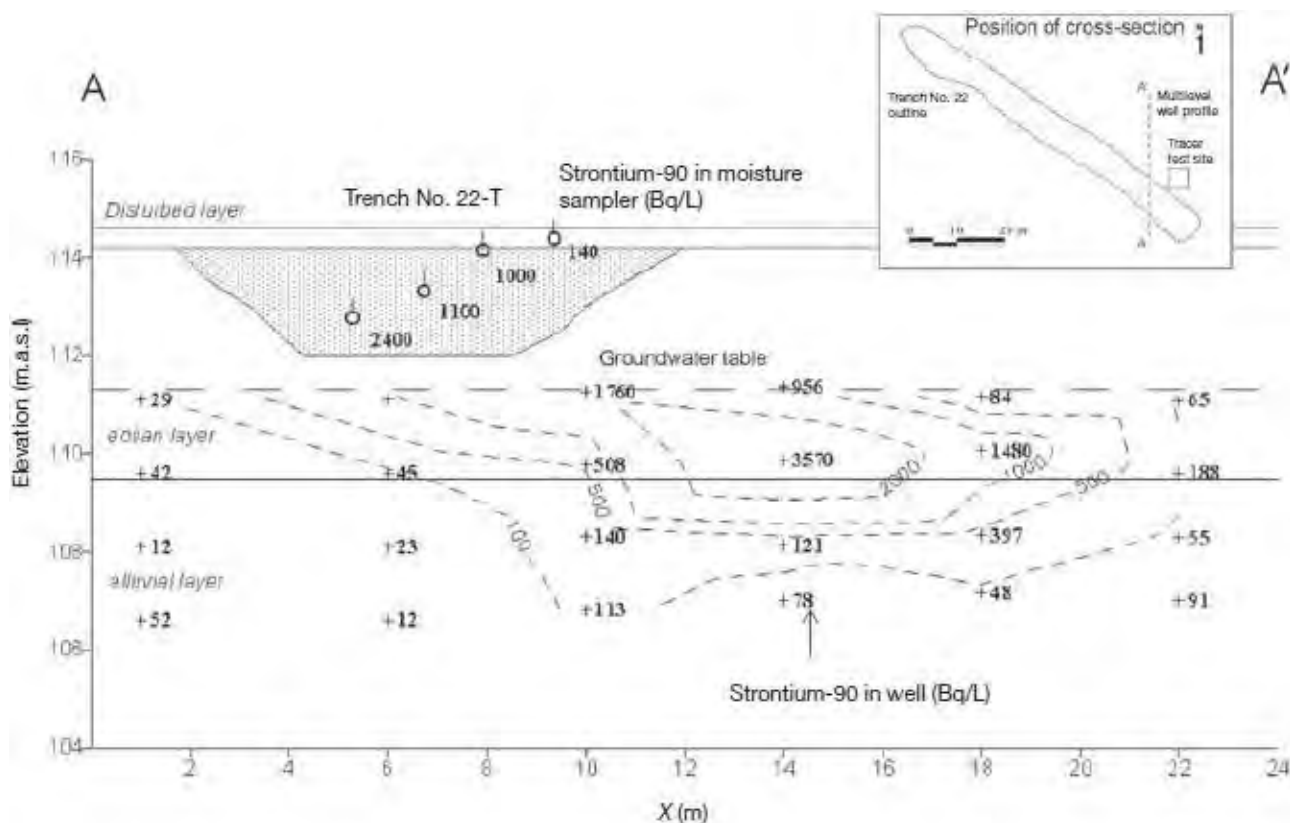


図 7.11.: ルズレス (Ryzhy Les) の施設の地表廃棄場 (トレンチ) 22 号の近くの地表近くの地下水における  $^{90}\text{Sr}$  濃度分布の断面図。1998 年 10 月測定。[文献 7.34 より引用]【横軸は距離で縦軸は海拔標高。単位は m。図の中の数字の単位は Bq/L。断面 A-A'は挿入図のようにトレンチ 22 号を斜めに切る。断面 A-A'には幾つかの多レベル監視井がある。地下水位は地下約 3m で風成土中にあり、風成土は沖積土を覆っている。】

前述のように【3.5.5 節も参照】、放射性核種の地下水を介した移動速度は、水の流体的な輸送よりはるかに遅い。この事実は、暫定放射性廃棄物施設から漏出された放射性核種の大半が、流れを遅らせる各種要因と地質化学過程の為に、地質媒体内に蓄積されることを意味する。複数の調査が、暫定放射性廃棄物施設周辺の土壌と地質媒体の収着量を考慮し、 $^{90}\text{Sr}$  のかなりの部分がいまだに燃料粒子【図 3.17 参照】と結合しており、そのため土壌中の間隙水へ放出されるのが幾年も遅れているということを示した。その結果、地下水中の放射性核種濃度は、 $^{90}\text{Sr}$  のように移動性の高いものでも非常に低い。プルトニウム同位体、およびそれらと関連した  $^{241}\text{Am}$  については、十分に調査されていない。しかし、それらが暫定放射性廃棄物施設の敷地より遠くへ移動する可能性が無視できる事実はよく知られている（図 7.11）。

放射性核種の鉛直および水平方向への移動速度の調査によると、現地の土壌の場合は、地下水が放射性核種によって汚染される危険性は低い。その事実に伴って、3.5 節（図 3.58 参照）でも論じたように、将来的にプリピャチ川がかなり汚染される危険性は低減される。ほとんどの重要な放射性廃棄物施設からの汚染地下水の先端が地域の表層水に到達するのは 100 年のスケール、またはそれ以上であることが示されているため、この問題は、プリピャチ川下流域の住民への放射能の影響被害としては重要ではなくなった[7.17, 7.34]。しかし、CEZ において、地下水はいまだに周辺環境への放射性核種の移動を可能にする重要な汚染源である。よって、廃棄物施設は定期的に監視され、組織的に管理されなければならない。

暫定施設の長期戦略は、関連して生じる放射線リスクの管理に関係する。その究極の目標は、廃棄物を処分するか、暫定廃棄物施設に保管することで  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  を十分に閉じ込め、被害を受ける可能性のある決定グループに深刻な影響を生じないうちに減衰させることである。プリピャチ川の岸近くに位置する暫定放射性廃棄物施設は洪水により冠水しかねないため、適切に設置された処分施設へと、廃棄物を回収し移動させることが好ましい戦略である。

CEZ にある暫定放射性廃棄物施設のうち、データベースが未知の施設や、周辺の地下水や表層水への将来的な汚染可能性が把握できない施設については、放射性壊変と自然希釈を考慮した安全性評価を実施する必要がある。汚染プルーム（汚染水塊）の移動および、その主要水源（帯水層、河川、貯水池、原発および CEZ への地元給水源）との境界面に対しては、信頼性レベルが高い評価を実施しなければならないことは明白である。その手の評価では、これらの水源に影響し得る全ての放出源を考慮する必要がある。

安全性評価の結果は、暫定施設における適切な除染策、または組織的な管理手法に関する意思決定の一助になる。数百年後の CEZ での再居住を仮定すると、そのとき様々なシナリオで生じ得る被ばくが受容可能なレベル内に抑えられるように、取扱い可能な廃棄物の受け入れ基準（たとえば放射能濃度）も設定する必要がある。それらの暫定処分施設では、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の放射能が警戒に値しないレベルまで減衰する数百年間は組織的な管理を維持することが必要になることは明白である。そのため、監視、復旧作業の実施、そして恐らく再居住に関連した重要な規制に多大な人的経済的資源が必要となる。しかし、長期にわたる組織的な管理を、CEZ での全体的な安全性を改善する復旧作業の代替物と考えるべきではない。



## 7.2.4. 課題と改善点

### 7.2.4.1. 立入禁止区域とチェルノブイリ原発の放射性廃棄物管理プログラム

チェルノブイリ原発や CEZ 内の汚染地区や暫定放射性廃棄物施設を更に除染するための、包括的な放射性廃棄物管理プログラムはいまだに確立されていない。先述のように、現在継続中の戦略は、周辺環境への放射能リスクが最大である暫定廃棄物施設を監視し、除染活動や環境防護活動の必要性を評価するものである。さらに、チェルノブイリ原発や CEZ からの高レベル長寿命廃棄物の長期処理方法・貯蔵方法・処分方法のオプションや、超ウラン元素で汚染された液状廃棄物の管理方法は、適切に選択されるべきであり、それに必要な施設も開発されなければならない。その種の手続きを開発すれば、あらゆるタイプの事故廃棄物の、一貫した組織的な長期管理を保証し、従って、作業員や一般人、そして周辺環境を保護することになる。

### 7.2.4.2. 4 号炉の廃止

石棺シェルターの解体および 4 号炉の廃炉戦略においては、取り組むべき主要要因が 2 点ある：関連して生じる放射性廃棄物（特に高レベル廃棄物）管理の安全性と遅延した復旧作業の安全性とである。浅地中施設で処分できない放射性廃棄物の管理戦略を開発する必要がある。特に、新しい廃棄物管理施設（例えば、長寿命廃棄物の貯蔵、地層処分）が必要とされているが、その際、この種の施設的能力や、チェルノブイリ原発の廃炉時に既存施設を利用する可能性も考慮されるべきである。長寿命（特に、大量の土壌、超ウラン液状廃棄物、そして汚染金属）や高レベル廃棄物（つまり FCM）の管理と、その後の処分用に適切なインフラや設備を整備する際には特に配慮が必要である。

### 7.2.4.3. 廃棄物受け入れ基準

現在実施中の廃棄物管理プログラムは、事故起源放射性廃棄物分類用の基準を含むが、それは、個々の放射性廃棄物処理の流れに対する適切な管理を選択する際に必要となる。廃棄物管理用の基準については、廃棄物中の  $^{137}\text{Cs}$  とアルファ核種の比放射能のレベルを基にしたものをベースに現在検討中である。この手の基準は、浅地中施設への受け入れ可能性の判断基準に、より適しているものの、【現段階では、】既存の廃棄物施設、特に暫定放射性廃棄物施設について、施設が受容可能な廃棄物の比放射能の閾値を推定する問題はまだ未解決である。廃棄物の受容可能な基準の作成は、作業員・周辺環境・住民を長期的に放射線からの保護するために重要である。

### 7.2.4.4. 既存放射性廃棄物貯蔵所の長期的安全性評価

残存する暫定放射性廃棄物貯蔵施設へ間違っ立ち入ることがないように、それらを同定し、適切な目印をつける必要がある。施設のアップグレードや修復活動の重要性を評価するため、これらの施設による周辺環境への長期的な影響を評価する必要もある。

施設数が多いので、安全性評価の必要性の優先順位を定める必要がある。これらの評価は現在の条件下での安全性と、将来あり得る再居住を考慮した場合の安全性に関して実施されるべきである。冠水している、またはする可能性のある施設や、将来、数百年間にわたる広範な管理を必要とする施設の数を抑制する必要性も考慮すべきである。

より高い放射線リスクを抱える施設を選ぶには、暫定施設の廃棄物に含まれる放射能の含有内容、特に長寿命放射性核種含有量を評価する手法の改善が重要である。実用上、この評価法はできるだけ少ない数のパラメータと手法とに依拠すべきものである。この方法で、個々の施設が環境に与える影響について現在行っている評価が抱える不確かさが低減されるうえ、CEZにおける全ての既存および潜在的な汚染源を考慮した、一貫した評価が実現可能になる。

#### 7.2.4.5. チェルノブイリ立入禁止区域に位置する暫定廃棄物貯蔵施設の復旧の可能性

暫定廃棄物貯蔵施設の管理戦略の整備が進みつつある。これは、異なる施設に対し、それらの現状と環境への放射線リスクに従って、次の3種のオプションを想定するものである[7.19, 7.29]。

- (a)環境影響を最小限に抑え作業員の安全性を改善するため、短期間に廃棄物を回収し処分する【べき施設】。例をあげると、工業地区、石棺シェルター、浸水した暫定貯蔵施設、そしてコンプレクスニー処分施設。
- (b)放射線防護基準に従い、将来的な処分を視野に入れて、廃棄物を組織的管理下で暫定貯蔵する。例をあげると、ポドレズニー処分施設とチェルノブイリ事故処理活動で汚染した装備類。
- (c)適切な介入策を決定するため、調査される必要がある施設を検査する。例をあげると、暫定放射性廃棄物施設と NCF 建設起源の土壌。

### 7.3. チェルノブイリ立入禁止区域の将来

CEZ の長期的開発は重要にして複雑な課題であり、多様な技術的、経済的、社会的、その他の要因を考慮する必要がある。この地域の発展のために様々なオプションが検討されてきた。

Likhatarev 等[7.35]によると、2015 年以降、チェルノブイリ原発周辺地域のおよそ 55%は、ウクライナ法による放射線医学的制限から解放されると考えられる。しかし、住民をこの圏内に戻すための最終決定は、汚染された土地の不均一性や現地の地形の異なる部分における放射性核種の移動や蓄積、そして地域住民の日常的習慣（狩猟、釣り、ベリー摘み、きのこ狩り等）を考慮する必要がある。

CEZ 開発の包括的計画とは、CEZ の汚染区域を復旧し、CEZ を見直し、そして非汚染区域に人々が再居住できるようにするものである。そのため、再居住区域で実施される可能性がある活動：食物生産農耕や家畜の放牧の禁止、そして家畜への清浄な飼料のみの使用に関する、明確に定義された行政的な規制が必要になる。従って、これらの再居住区域は、住宅地区ではなく産業地区に最適である。

上記の理由により、石棺シェルターの除染と解体、及び、この地域における放射性廃棄物管理施設に重点を置いた活動は継続が期待されるが、その際には同地域の最適な管理を必要とする。新構想によると、CEZ は以下の異なる区域に分割されることが予期される：

- (a) 産業区域には最も汚染された地域が含まれ、そこにはチェルノブイリ原発敷地、放射性廃棄物処理施設、そして主要な放射性廃棄物貯蔵所エリア等が位置する。ここでは主に、NSC 施設の建設等の産業活動が実施されると想定されている。NSC 建設用のインフラを供給するために、新しい道路、船積場、鉄道、その他の支援設備が計画されている。チェルノブイリの町がそのインフラ開発の候補地になっている[7.6]。CEZ が高レベル長寿命放射性廃棄物の地層処分場用地として選抜された場合、大量の掘削や採掘作業が実施される必要があるため、技術インフラの具体的な開発も必要になる。
- (b) 保健制限区域は産業区域と自然保護区域間の緩衝地帯と位置付けられる。
- (c) 自然保護区域は、産業および人間活動のほとんどが禁止された場所に位置する計画で、その目的は基礎的かつ自然な景観および地域の生物多様性の保護にある。

CEZ の復旧活動は、長期的に産業活動や自然保護のための最適の条件を与えるものと期待される。例えば、NSC は最低 100 年間稼働できるものと期待されている。異なるタイプの放射性廃棄物貯蔵施設により、300 年かそれ以上、安全な貯蔵ができなければならない。この領域で可能な活動として、放射性廃棄物用の、主地層処分施設の建設がある。ウクライナの異なる地域から地層処分場に運搬されてくる、あらゆる種類の放射性物質と廃棄物を処理するため、国立の技術センターも設立されるかもしれない。

汚染区域における管理戦略の評価と最適化のための基盤をつくり、放射性核種の移動の動態や変化、そして人工防護壁の追加と環境除染技術の実施に必要な、基礎的かつ実践的な知識を発展させるため、CEZ の監視と支援研究を継続すべきである。

要約すると、CEZ の今後の 100 年間かそれ以降は、以下の活動と関連するものになると思われる：

- (i) NSC 及び関連する技術インフラの建設と運用
- (ii) チェルノブイリ原発 1～3 号炉と石棺シェルターからの燃料抜き取り、廃炉、および解体
- (iii) 放射性廃棄物処理と管理用の施設、特に高レベル長寿命放射性物質用の深地層処分所の建設
- (iv) 居住禁止のままとなる区域での自然保護区の設定
- (v) 環境モニタリングと研究調査活動の継続

## 7.4. 結論と提言

### 7.4.1. 結論

石棺シェルター構造の安定性、放射能データベース、不十分な閉じ込め【遮蔽】、FCMの経年変化特性、そして石棺シェルター内外の諸条件（例えば地下水の状態）に関する現時点の不確実性【不十分なデータ】により、作業員や一般人、そして周辺環境の将来的な保護の観点からの安全性が不十分なものになっている。従って、石棺シェルターの安定化対策の継続とNSCの建設こそが安全性を高め、CEZ圏外にも影響を及ぼすと懸念される事故シナリオを未然に防ぐ、あるいは緩和するものと期待される。

この期間中に発生する放射性廃棄物、特に長寿命かつ高レベルの廃棄物の安全な前処理と本処理の管理に関する課題が迅速に解決されることが必要である。NSC完成後の4号炉の廃止に関する計画立案と安全性評価は、石棺シェルターを環境に安全なシステムに変換するための適切な方策を立案し、必要な人的経済的資源を割り振るために必須である。

4号炉の廃止は、大量かつ広範な特性をもつ放射性廃棄物を発生するが、それらはチェルノブイリ原発とCEZにおける廃炉および廃棄物管理活動の一環として安全に管理されなければならない。全廃棄物フローを管理するための広範な戦略が、これらの廃棄物の処理、貯蔵、そして処分用の適切なインフラと機能を保証する目的で必要となる。その種の戦略では、部分的に冠水した地下および地上の貯蔵・処分場を将来整備することにも配慮しなければならない。

現在のところ、既知の廃棄物施設は受け入れ難い危害を住民に及ぼしてはいないことが調査によって示されている。しかし、住民と周辺環境への長期的影響の評価は必要とされている。これは、CEZにおける残りの放射能汚染源、特に冠水してリスクがより高くなっている施設も考慮して実施すべきである。

あまり知られておらず、十分な調査も為されていない廃棄物施設に関しては、廃棄物データベースおよび施設の特性に関する不確実性を低減し、長期的安全性を評価し、周辺環境への放射性核種の移動動態を監視し、必要なら除染策を実施すべきである。これは、CEZにおける廃棄物管理活動を成功裏に実施し、この区域を環境に対して安全なシステムに変換するために重要である。

#### 7.4.2. 提言

安全性改善のため継続中の努力を認識し、前述した既存の入力データの不確実性に対処しつつ、石棺シェルターの解体と事故起源放射性廃棄物の管理に関し、主として以下を提言する。

- (a) 個々の安全性および環境アセスメントは、チェルノブイリ原発と周辺の個々の施設に関してのみ実施されてきたので、国際的標準と勧告に準じた、全CEZ内の活動を包含する包括的な、安全性および環境影響のアセスメントを実施すべきである。
- (b) NSCの準備と建設および土壌除去の期間中、監視用特殊井戸の破壊が予想される。従って、チェルノブイリ原発敷地及びCEZにおける状況の監視を適宜実施するために必要な環境監視戦略、方法、装置、そしてスタッフの技能の維持と向上とは重要である。
- (c) 50年遅延して石棺シェルターを解体することは、構造的安定性と健全性、そして資源と知識とを長期的に保持する必要性を考慮すると、現実的なオプションとは思えない。この長期戦略は、

チェルノブイリ原発で最も経験に富んだ人材や、NSCの安全な運用に欠かせない安定した労働力の確保に関して懸念を生じさせる。従って、地層処分施設の完成を待つまでもなく、石棺シェルターの不安定構造を解体した直後にFCMの回収を始める方が合理的である。

- (d) 石棺シェルター、チェルノブイリ原発敷地、そしてCEZのための総合的な廃棄物管理プログラムの開発が、いかなる種類の廃棄物でも対応可能な、一貫した管理アプローチと十分な設備容量を保証するために必要である。全ての除染・廃止活動に起因する廃棄物（特に超ウラン元素を含むもの）の特性評価および分類と、長寿命高レベル廃棄物の安全な長期管理用の十分なインフラを設立することは、特に強調する必要がある。従って、十分な廃棄物貯蔵能力を保証するために適切な廃棄物管理用インフラの開発が必要である。これがないために、現在、チェルノブイリ原発敷地とCEZにおける除染活動は、その進度も持続性も限られている。
- (e) CEZの復興のため、現在の廃棄物貯蔵所と処理施設の安全性改善に特に焦点を当てた、一貫した包括的な戦略が必要とされている。そこで、各施設について、廃棄物を回収して処分すべき施設か、または現場で自然減衰させるべき施設かを決定することを目的として、施設除染の優先順位を、安全性評価の結果に基づいて決める手続きを開発しなければならない。

## 7章の参考文献

- [7.1] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2000).
- [7.2] KASHPAROV, V.A., et al., Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout, Sci. Total Environ. 317 (2003) 105-119.
- [7.3] BOROVOY, A., BOGATOV, S., PASUKHIN, E., Current status of the shelter and its impact on the environment, Radiokhimiya 41 (1999) 368-378 (in Russian).
- [7.4] NOVOKSHCHENOV, V., The Chernobyl problem, Civ. Eng. 72 (2002) 74-83.
- [7.5] BOROVOY, A. (Ed.), Object Shelter Safety Analysis Report, Chernobyl nuclear power plant (2002) (in Russian).
- [7.6] STATE SPECIALIZED ENTERPRISE 'CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT', Environmental Impact Assessment, New Safe Confinement Conceptual Design: Chernobyl Nuclear Power Plant - Unit 4, State Specialized Enterprise 'Chernobyl Nuclear Power Plant', Kiev (2003).
- [7.7] Radiation Safety Norms of Ukraine, Rep. NRSU-97, Ministry of Health of Ukraine, Kiev (1998).
- [7.8] GMAL, B., MOSER, E.F., PRETZSCH, G., QUADE, U., Criticality Behaviour of the Fuelcontaining Masses inside the Object "Shelter" of the Chernobyl NPP, Unit 4, GRS Rep. A - 2414, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Cologne (1997).
- [7.9] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On, OECD, Paris (2002).
- [7.10] BOGATOV, S., BOROVOY, A., Assessment of Inventory and Determination of Features of Dust

Contained in the Shelter, Preprint of ISTC Shelter Report, Chernobyl (2000) (in Russian).

- [7.11] PRETZSCH, G., "Radiological consequences of a hypothetical roof breakdown accident of the Chernobyl sarcophagus", One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, IAEA-TECDOC-964, Vol. 2, IAEA, Vienna (1997) 591-597.
- [7.12] SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER IN UKRAINE, Comprehensive Risk Assessment of the Consequences of the Chernobyl Accident, Science and Technology Center in Ukraine, Kiev (1998).
- [7.13] STATE SPECIALIZED ENTERPRISE 'CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT', SIP Project, Shelter Transformation Safety, Digest Prepared by the State Specialized Enterprise 'Chernobyl Nuclear Power Plant' Information Department, Slavutych (2004).
- [7.14] SCHMIEMAN, E.A., et al., Conceptual design of the Chernobyl new safe confinement - An overview, Can. Nucl. Soc. Bull. 25 2 (2004) 9-16.
- [7.15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Conditions in the Dnieper River Basin, IAEA, Vienna (2006).
- [7.16] BUGAI, D.A., WATERS, R.D., DZHEPO, S.P., SKALSKY, A.S., Risks from radionuclide migration to groundwater in the Chernobyl 30-km zone, Health Phys. 71 (1996) 9-18.
- [7.17] SHESTOPALOV, V.M. (Ed.), Chernobyl Disaster and Groundwater, Balkema, Amsterdam (2002).
- [7.18] VARGO, G.I., et al., The Chernobyl Accident: A Comprehensive Risk Assessment, Battelle, Columbus, OH (2000).
- [7.19] Integrated Radioactive Waste Programme at the Stage of Shutdown of the Chernobyl NPP and Transformation of the Shelter into an Environmentally Safe System, Ministry of Fuel and Energy, Administration of the Exclusion Zone, State Committee of Nuclear Regulation, Ministry of Environment and Natural Resources, and Ministry of Health of Ukraine (2004) (in Ukrainian).
- [7.20] BONDARENKO, O.O., DROZD, I.P., LOBACH, G.O., TOKAREVSKIY, V.V., SHIBETSKIY, Y.O., Present problem of radioactive waste management at the Chernobyl Exclusion Zone, Bull. Ecol. State Chernobyl Exclusion Zone 23 (2004) 36-40 (in Ukrainian).
- [7.21] Basic Sanitary Rules of Radiation Safety of Ukraine, Ministry of Health of Ukraine, Kiev (2000).
- [7.22] National Report Developed in Compliance with the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Kiev (2003).
- [7.23] DEREVETS, V., et al., Radiation conditions in the Chernobyl exclusion zone in 1999, Bull. Ecol. State Chernobyl Exclusion Zone 17 (2000) 5-19 (in Ukrainian).
- [7.24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994).
- [7.25] Concept of Radioactive Waste Management at the Shelter, Approved by the State Commission on Issues on Complex Solution of Problems of Chernobyl NPP on 15 November 1999 (1999) (in Ukrainian).
- [7.26] EUROPEAN COMMISSION, Characterisation of Radioactive Waste Located at "Shelter" Industrial Site, Rep. EUR 19844, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2001).

- [7.27] PANASUK, N., et al., Results of the assessment of contaminated soil and underground water at the shelter site, *J. Chernobyl Problems* 7 (2002) 97.
- [7.28] BOROVOY, A., Object Shelter Safety Analysis Report (2001).
- [7.29] SAVERSKY, S., BUGAY, D., ANTROPOV, V., Experience and perspectives of radioactive waste management at the exclusion zone, *Bull. Ecol. State Chernobyl Exclusion Zone* 17 (2001) 26-36 (in Ukrainian).
- [7.30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Present and Future Environmental Impact of the Chernobyl Accident, IAEATECDOC-1240, IAEA, Vienna (2001).
- [7.31] Law of Ukraine on Radioactive Waste Management of 30 June 1995, Government Courier (1995).
- [7.32] FRENCH-GERMAN INITIATIVE FOR CHERNOBYL, Final Report on Project No. 2, Radioecological Consequences of the Chernobyl Accident, Sub-Project Waste Dumps and Waste Strategies Management, Deliverable 18, Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety, Paris, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Cologne, International Chernobyl Laboratory, Slavutych (2004).
- [7.33] SHESTOPALOV, V.M., Some results of the pilot studies carried out at the Chernobyl exclusion zone related to the assessment of the radioactive waste isolation at the deep geological repository, *Bull. Ecol. State Chernobyl Exclusion Zone* 21 (2004) 33-36 (in Ukrainian).
- [7.34] ANTROPOV, V.M., et al., Review and Analysis of Solid Long-lived and High Level Radioactive Waste arising at the Chernobyl Nuclear Power Plant and the Restricted Zone, DG Environment Project No. B7-5350/99/51983/MAR/C2, NNC, Knutsford (2001).
- [7.35] LIKHTAREV, I.A., KOVGAN, L.M., BONDARENKO, O.O., If there is future for the exclusion zone and the population of relocated territories? (Opinion of a radiologist), *Bull. Ecol. State Chernobyl Exclusion Zone* 15 (2000) 44-49 (in Ukrainian).
- [7.36] Statement on Policy of Regulation of Nuclear and Radiation Safety of the Shelter, Approved by the Ministry of Environmental Protection and Nuclear Safety, Approval No. 49 of 8 April 1998, Chernobyl nuclear power plant (1998) (in Ukrainian).

## 起草と検討に協力したメンバー

Alexakhin, R.	Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Russian Federation
Anspaugh, L.	University of Utah, United State of America
Balonoꝝ, M.	International Atomic Energy Agency
Batandjjeva, B.	International Atomic Energy Agency
Besnus, F.	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire France
Biesold, H.	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Germany
Bogdevich, I.	Belarusian Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Belarus
Byron, D.	International Atomic Energy Agency
Carr, Z.	World Health Organization
Deville-Cavelin, G.	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, France
Ferris, I.	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fesenko, S.	Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Russian Federation
Gentner, N.	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
Golikoꝝ, V.	Institute of Radiation Hygiene of the Ministry of Public Health, Russian Federation
Gora, A.	International Radioecology Laboratory, Ukraine
Hendry, J.	International Atomic Energy Agency
Hinton, T.	University of Georgia, United States of America
Howard, B.	Centre for Ecology and Hydrology, United Kingdom
Kashparovoꝝ, V.	Ukrainian Institute of Agricultural Radiology, Ukraine
Kirchner, G.	Institut für Angewandten Strahlenschutz, Germany
LaGuardia, T.	TLG Services, Inc., United States of America
Linsley, G.	Consultant, United Kingdom
Louvat, D.	International Atomic Energy Agency
Moberg, L.	Swedish Radiation Protection Authority, Sweden
Napier, B.	Pacific Northwest National Laboratory, United States of America
Prister, B.	Ukrainian Institute of Agricultural Radiology, Ukraine
Proskura, M.	Ministry for Emergencies and Affairs of Population Protection from the Consequences of the Chernobyl Catastrophe, Ukraine



Reisenweaver, D.	International Atomic Energy Agency
Schmieman, E.	Pacific Northwest National Laboratory, United States of America
Shaw, G.	Imperial College of Science, Technology and Medicine, United Kingdom
Shestopalov, V.	National Academy of Sciences, Ukraine
Smith, J.	Centre for Ecology and Hydrology, United Kingdom
Strand, P.	International Union of Radioecology, Norway
Tsaturay, Y.	Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Russian Federation
Vojtsekhovich, O.	Hydrometeorological Scientific Research Institute, Ukraine
Woodhead, D.	Consultant, United Kingdom

#### 専門家会議

Vienna, Austria: 30 June-4 July 2003, 15-19 December 2003, 26-30 January 2004, 14-18 June 2004, 18-22 October 2004, 29 November-3 December 2004, 31 January-4 February 2005

日本学術会議 第三部 総合工学委員会 原子力事故対応分科会  
原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会 委員リスト

中島映至 東京大学大気海洋研究所教授 第三部会員  
大塚孝治 東京大学原子核科学研究センター教授 連携会員  
柴田徳思 (株)千代田テクノ大洗研究所 研究主幹、  
東京大学 高エネルギー加速器研究機構、総合研究院大学院大学名誉教授 連携会員  
五十嵐康人 気象研究所環境応用気象研究部第四研究室長  
石丸隆 東京海洋大学海洋科学部教授  
植松光夫 東京大学大気海洋研究所教授  
内田滋夫 放射線医学総合研究所研究基盤センター センター長  
占部逸正 福山大学工学部教授  
海老原充 首都大学東京理工学研究科教授  
恩田裕一 筑波大学大学院生命環境科学研究科教授  
斎藤公明 日本原子力研究開発機構福島支援センター  
篠原厚 大阪大学大学院理学研究科教授  
高橋知之 京都大学原子炉実験所准教授  
谷畑勇夫 大阪大学核物理研究センター教授  
鶴田治雄 東京大学大気海洋研究所特任研究員  
豊田新 岡山理科大学理学部教授  
服部隆利 (財)電力中央研究所放射線安全研究センター副センター長  
星正治 広島大学名誉教授  
榎本和義 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター教授  
吉田尚弘 東京工業大学総合理工学研究科教授

翻訳ボランティアのメンバーリスト (50音順)

荒井 格 (PhDr. Itaru Arai) オーストリア科学技術研究所 (神経科学)  
太田絵里 (Dr. Eri Ota) 引退 (環境教育学)  
小田啓邦 (Dr. Hirokuni Oda) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (専門:地球惑星科学)  
小田キャサリン・ヴィヴァル (Mrs. Catherine Vivar Oda) 翻訳家  
柏村直樹 (Dr. Naoki Kashiwamura) 三重大学生物資源学部名誉教授 (農学)  
金 亨徹 (Mr. Hyeongcheol Kim) 埼玉江南病院 (精神科医)  
児玉直哉 (Mr. Naoya Kodama) 一般人/イギリスの企業勤務  
近藤昭彦 (Dr. Akihiko Kondoh) 千葉大学環境リモートセンシング研究センター (地理学)  
齋藤俊樹 (Dr. Toshiki I. Saito) 国立病院機構名古屋医療センター

篠村知子 (Dr. Tomoko Shinomura) 帝京大学工学部バイオサイエンス学科 (植物生理学)  
島岡未来子 (Ms. Mikiko Shimaoka) 早稲田大学 商学大学院 助手  
寶村信二 (Mr. Shinji Takamura) 翻訳家  
手島浩美 (Ms. Hiromi Teshima) 翻訳家  
中村秀規 (Dr. Hidenori Nakamura) 公益財団法人地球環境戦略研究機関 (環境経済・政策)  
成田康人 (PD Dr. Yasuhito Narita) オーストリア科学アカデミー 宇宙科学研究所 (宇宙プラズマ理論)  
森下洋行 (Mr. Hiroyuki Morishita) 材料エンジニア/ブラジル駐在勤務  
山内正敏 (Dr. Masatoshi Yamauchi) スウェーデン国立スペース物理研究所 (地球惑星科学)  
山崎健二 (Mr. Kanji Yamasaki) 土木エンジニア/アメリカの企業勤務  
吉田三知世 (Ms. Michiyo Yoshida) 翻訳家

他3名

The explosion on 26 April 1986 at the Chernobyl nuclear power plant and the consequent reactor fire resulted in an unprecedented release of radioactive material from a nuclear reactor and adverse consequences for the public and the environment. Although the accident occurred nearly two decades ago, controversy still surrounds the real impact of the disaster. Therefore the IAEA, in cooperation with the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the United Nations Development Programme, the United Nations Environment Programme, the United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, the World Health Organization and the World Bank, as well as the competent authorities of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, established the Chernobyl Forum in 2003. The mission of the Forum was to generate “authoritative consensual statements” on the environmental consequences and health effects attributable to radiation exposure arising from the accident as well as to provide advice on environmental remediation and special health care programmes, and to suggest areas in which further research is required. This report presents the findings and recommendations of the Chernobyl Forum concerning the environmental effects of the Chernobyl accident.

1986年4月26日のチェルノブイリ原子力発電所の爆発と結果として起こった火災は、前例のない放射性物質の放出を引き起こし、人々と環境に悪影響を及ぼした。事故が起こって20年経た現在でも、大災害の真の影響について論争が続いている。このため、国際原子力機関は、ベルラーシ、ロシア連邦、ウクライナの所轄官庁及び国連食糧農業機関、国連開発計画、国連環境計画、国連人道問題調整事務所、放射線の影響に関する国連科学委員会、世界保健機構、世界銀行の協力のもとにチェルノブイリ・フォーラムを2003年に設立した。フォーラムの目的は、原発事故による放射線被曝に起因する人体の健康への影響や、飛散した放射性物質による環境への影響、汚染された環境の修復、必要とされる健康管理、今後調査が必要な地域の選択に関して専門家の合意に基づく声明を出すことである。この報告は、チェルノブイリ事故による環境影響に関するチェルノブイリ・フォーラムの結論と提言を提示している。

国際原子力機関  
ウィーン  
ISBN 92-0-114705-8  
ISSN 1020-6566