

# Visit Chernobyl NPP station, Museum, tour on Pripyat territory

August 14, 2008

2008年7月9日、長崎大学グローバルCOEプログラムの一環として、チェルノブイリ原子力発電所及び関連施設を視察し、1986年に起きた原発事故の当時の状況及び事故発生から現在までのShelter建設による放射能(線)の遮蔽作業等に関する情報収集、さらには現在の環境放射線レベルの把握を目的としたモニタリング調査を実施したので、その結果を報告する。(長崎大学大学院医歯薬学総合研究科放射線医療科学専攻 平良 文亨)

## 1. チェルノブイリ原子力発電所等の視察

### 概要

1986年4月26日のチェルノブイリ原発事故から、現在まで放射能の外部への放出を避けるために、4号炉を覆う石棺(Shelter)の建設やプラントの補強工事等が行われてきた。

しかし、施設の老朽化など種々の要因により、新たな整備計画が必要となり、安全を担保するための取り組みが行われている。

### SIP\* Project Objectives and Tasks \*SIP=Shelter Implementation Plan

行動計画の主な目標としては、当該事業に関係する全職員、公共物及び環境から核燃料及び放射化物を除去あるいは隔離するなどして、それらの危険性から保護することである。

SIPは、5つの詳細な優先事項を規定している。これらは、この計画の中で実行されるべきもので、それぞれの対象事項について具体的な22の遂行すべき項目が含まれている。

### OBJECTIVE 1

**To mitigate the risk of collapse – structural stabilization** (建家の崩壊リスクの軽減化 - 構造安定化)

- Task 1. 動員、保護及び安定化に関する完全な計画
- Task 2. OS(Object shelter)西側部分の安定化及び遮蔽
- Task 3. 巨大な横材及び南側部分の安定化及び遮蔽
- Task 4. 東側部分及び北側部分の安定化及び遮蔽
- Task 5. 屋根、支え及び覆う作業の安定化
- Task 6. 構造調査及びモニタリング
- Task 7. 地質技術調査
- Task 8. 地震の特徴把握及びモニタリング



shelter\_south



shelter\_north

(a quotation from SIP)

## OBJECTIVE 2

To mitigate the accident consequences(collapse) (崩壊事故による影響の軽減化)

- Task 9. 緊急時対応・準備
- Task 10. ダスト(粉塵)管理
- Task 11. 緊急時のダスト抑制システム

## OBJECTIVE 3

Nuclear safety improvement (核物質の安全性に関する改善)

- Task 12. 臨界及び核物質の安全性
- Task 13. OS に溜まっている水の管理
- Task 14. FCM の評価

## OBJECTIVE 4

Personnel and environment safety improvement (全職員及び環境に関する改善)

- Task 15. 放射性物質の遮蔽プログラム
- Task 16. 技術的安全性、物理的事象及び火災からの保護
- Task 17. 相互のモニタリングシステム
- Task 18. 相互のデータベース

## OBJECTIVE 5

Strategy and Feasibility Study(FS) for OS conversion in ecologically safe system (環境保護システムによる OS 転換のための戦略及び可能性調査)

- Task 19. FCM 除去及び RAW 管理に関する戦略及び可能性調査
- Task 20. FCM 除去技術の進展
- Task 21. 新しい安全な封じ込め技術に関する戦略(NSC)
- Task 22. FCM の解体及び除去に関する閉じ込め技術の建設



Lava like FCM (a quotation from SIP)

## PROJECT IMPLEMENTATION PHASES

初期段階(Phase 1)では、1998年(～2000年の中頃)に、早期のプロジェクト(戦略、プログラム及びコンセプトの進展)の実現と、次の段階(Phase 2)に進む前の準備段階として、先に述べた5つの優先事項以外に最優先とする2つの安定化調査が含まれている。

Implementation of Early Biddable Projects (EBP) :

- EBP A - 国内技術(地質学的調査、構造モニタリングシステムの設計及びデータベ

- ース、安定化調査のためのインフラ整備、安定化のための作業範囲の決定、新たな安全な閉じ込め作業に関する戦略)
- EBP B - 運営及びモニタリング(建家及び火災に関する安全性、相互のモニタリングシステム及びデータベース、地震のモニタリング、放射線(能)保護プログラム)
- EBP C - 緊急時システム(緊急時計画の作成、緊急時の安全性、ダスト及び貯留水に関するシステム)
- EBP D - FCM 除去戦略(燃料を含んだ資材に関する予備調査、FCM 除去戦略のコンセプト調査及び RAW に関する管理、FCM 除去技術に関するコンセプト調査、FCM 除去計画の決定)

種々の国からなる約 30 社(Morrison Knudsen Ltd(アメリカ)、BNFL Engineering Ltd(イギリス)、NUKEN(ドイツ)、SGN(フランス)、JGC Corporation(日本)、RSC"Kurchatov Institute"(ロシア)、ウクライナの研究機関等)が、EBP に従事した。これらの共同企業体を基本に、全ての作業に必要な物が準備され、プログラム遂行上の重要な決定がなされた。

### Implementation of two top-priority stabilization measures:

#### 1.Repair of ChNPP Unit 3&4 Ventilation Stack foundation and bracing – 1998

プロジェクトに係る総コストは、2,249,966US ドルであった。資金は 3 社から出され、アメリカ及びカナダからは 1,800,000US ドルを、ウクライナからは 449,966US ドルを負担した。ウクライナは、作業従事者に対する放射線保護や建設現場での被ばくのモニタリング及び必要な情報の提供を行った。また、"Ukrenergostroy"が工事を請け負った。Object Shelter (OS) 職員は、作業者の管理及び作業に対する全ての責任及び計画作成を担った。アメリカ及びカナダの専門家は、技術的な目標や助言を行い、プロジェクト遂行のための管理監督を担った。また、作業の進行状況の評価を行った。ウクライナとしては、共に安全性評価等を行った。この作業における外部被ばくの平均は、1cSv 以下であった。個々の被ばく値では、4cSv を超える者はいなかった。

#### 2.Reinforcement of Beam B1 and B2 Supports – 1999

プロジェクトに係る総コストは、2,844,079US ドルであった。"Ukrenergostroy"が工事を請け負った。最初に、チェルノブイリ原発の実物大の模型を使って、遮蔽、装置の設置、溶接等の作業を行った。このプロジェクトの特徴として、高温及び高レベルの放射能汚染という極めてまれな状況下で、かつ高所である shelter 内部で作業することであった。この作業における外部被ばくの平均は、モニタリング管理下で 1.31cSv であった。個々の被ばく値では、2cSv を超える者はいなかった。加えて、Phase 1 では、OS の安全性及びインフラ整備が図られた。

- 中性子モニタリングシステム"Pilot"の試作品の設置
- shelter 天井を完全に遮蔽する作業。天井から漏れている OS 内部に浸入している水を減らすための 5 段階の作業。
- 放射性廃棄物(RAW)及び構造物の輸送のための車両輸送路の建設
- 資材のデータベースを含む OS の運営開始
- 土壌表層の除去及び廃棄、柵の設置、電力供給体の設置、安定化調査の実行に伴う非加熱貯蔵施設の建設
- 4 号炉の内部電力システムの建設及びケーブル線の被覆作業
- 1,430 人の作業員及び他の関係者を交代させるための建物の建設

Phase 1 では、SIP プロジェクト戦略や作業実行スケジュールで決められていた全てのエリアでほぼ実行された。

2000 年の移行期間中(2001 年のはじめまで)、これまでのプロジェクト結果が分析され、中間報告へ反映された。

**Phase 2:** 2001 年のはじめから 2013 年までの計画設計、装置の調達、建設及び施設及びシステムについて

この段階では、Phase 1 の結果から実際に行うプロジェクトへ反映され、特徴的な事項が盛り込まれている。まず、構造の安定化、モニタリングシステム及び関連データベースの設置及び委託、FCM 除去技術の試験、実践、浸水及びダスト管理の技術決定、新たな安全な封じ込め作業(NSC)及び NSC で包囲された中で不安定構造の解体に関する行動計画が盛り込まれている。これらの作業実施については、放射線保護プログラム、技術的及び安全上の保障及び評価管理プロジェクトに基づき、非常に複雑かつ特長的な活動が、Phase 2 期間中 OS 及びチェルノブイリ原発サイトで行われている。そして、これらの作業の技術的内容は、個々それぞれの作業で異なっている。

また、構造安定化モニタリングシステムの設置、委託及びデータベース化、FCM 除去技術の進展、浸水及びダスト管理の技術的な取り決め、NSC の建設及び NSC のもとで不安定構造物の解体が優先的に実行されているが、この段階は、Phase 1 の結果を受けた移行プロジェクトによるものである。これらの作業も、放射線保護プログラム、技術的及び安全上の保障及び評価管理プロジェクトに基づき、非常に複雑かつ特長的な活動が行われている。

SIP の Phase 2 実行のための戦略に基づき、次に示すような 22 の作業が構成されている。

まず、準備作業として、Phase 2 の主な目標を達成するため、インフラ整備を試みた。

- ウクライナの支援により、OS の情報分析センターを開設し、OS データベースの技術支援を受けられるようにした。(キエフの請負業者"Sinaps")
- "Uktransstroy"は、Slavutich 市及びチェルノブイリ原発サイトに職員訓練センターを開設し、職員がチェルノブイリ原発の特異的環境下で作業することの理論的かつ実際的な知識を享受している。
- UTEM は、OS サイトでの作業及び将来の NSC 建設に係る衛生面を担保する 1,430 の交代施設を建設した。
- JSC UTEM は、Slavutich 市にリハビリテーションセンターを建設した。この施設の目的は、専門的な選択、モニタリング及び OS での危険な仕事に従事する職員のリハビリを行うことにある。

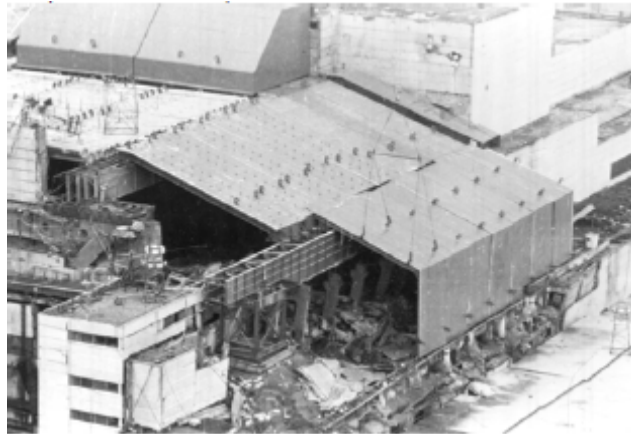
(他の建設内容については省略)

### **Design and Construction of Stabilization Measures**

OS の安定化の目的は、必然的に環境中に多大な放射性物質を放出するような構造物の崩壊リスクの軽減化である。1997 年から 1998 年及び 2004 年から 2007 年の作業実施の結果、OS 崩壊の危険性は、当面(15 年間)はなくなった(軽減された)。これにより、SIP の中で行われる損傷炉心部及び他の関連作業である NSC の建設に要する時間を獲得することができた。

安定化の詳細は、NIISK、KIEP 及び ISTC"Shelter"で構成される KSK 共同体によって進行された。

安定化の調査は、2004 年 12 月及び 2007 年 4 月に行われた。(安定化に関する作業工程については省略)



Object Shelter during construction

(a quotation from Conceptual Design of the Chernobyl New safe Confinement – an Overview)

### **Radiation protection, safety and monitoring systems**

“The Temporary OS Emergency Plan”による規定が設けられた。また、ウクライナの支援により放射線保護プログラムが進展し、各規定が設けられた。

身体的な保護及び評価管理システム(改良版)が実行中である。作業設計は、専門家による調査を経て、建設及び設置については、サイト内で実施される。再建設の指揮は、ウクライナの企業体”Atomremontservice”が遠隔作業により行われた。”ABB ALSTOM POWER Service”及び”Transexpo”は、記録・建設監督の技術者を配置し、作業前の準備を行っている。

また、自動モニタリングシステム(IAMS)が稼働している。IAMSは、NSC建設及び核燃料で汚染された物質の除去作業中のOSにおける安全な環境を支援する。このIAMSの技術設計は、施行業者及び関連規定により作成された。ソフトウェアの開発は終了し、工場での稼働テスト、装置の出荷等を行っているところである。

さらに、OSのダスト抑制システム(改良版)が稼働し始めている。ダストの発生を防ぐ特別な抑制化合物が、厚いフィルムでできた保護層を覆い、使用されている。このプロジェクトは、ダスト抑制エリアの拡大及びダストの拡散を低減させた。最新式のダスト抑制システムの試験運用期間を経て、施行業者は最適な抑制化合物を決定し、適用期間を詳細に考慮し、システムの検出器を改良するなどして、安定化調査のための最適な環境を作った。そして、MDSS運営の安全性及び効果に関する報告書を作成した。このダスト抑制システムは、施設内で運営し、うまく機能した。

一方、ロシアの企業体は、シェルター関連のデータベース(ISDB)を作るためのプロジェクトを完成させた。具体的には、電子情報管理、IAMSと接続したコンピュータ及び今後の作業に係る計画と安全性を支える巨大な情報源である。

### **Design and Construction of Safe Confinement.**

OSに関する新しい保護体あるいはNSCの建設は、環境安全システムの中でOSの転換のための最も重要なものの1つである。

封じ込め作業は、破壊されたチェルノブイリ4号炉起因の核燃料を含む物質の除去装置を安全に封入するもので、放射性廃棄物の管理、環境保護システムによるこの炉心機の転換作業に係る設計及び作業員や環境安全上に係るものである。

NSC建設のために果たすべき事項としては、次のようなものがある。

- 放射線安全レベルの向上。NSCにより、運営期間中(100年間)は公共、職員及び環境への放射線量を制限させなければならない。
- 不安定な構造物による崩壊可能性の減少。
- NSC内部の封入構造、輸送構造及びモニタリングシステムにより、構造物の崩壊可

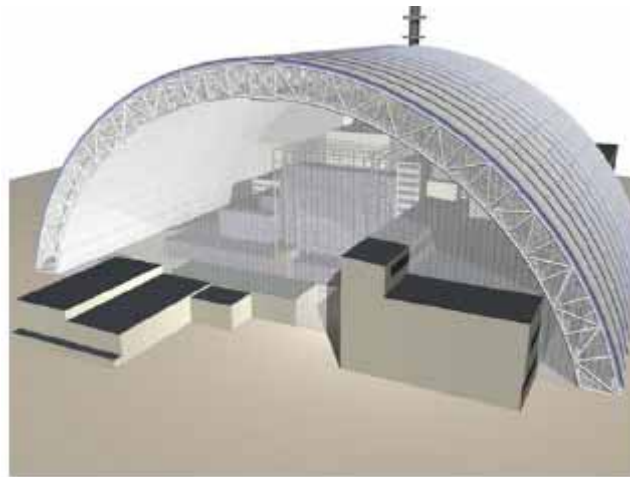


能性の減少。

- FCM の蓄積物への降水の進入を避けることで、OS 核物質の安全性を向上させ、連鎖反応によるリスクを大幅に減少させる。
- NSC 構造の保持期間、環境保護システムの中で OS 転換作業の戦略的履行と、不安定物質の解体及び核燃料汚染物質の除去を可能な限り行う。

安全な封入作業により、核燃料汚染物質の将来的な除去及び次の段階である貯蔵を 100 年間可能にする多機能施設を有する。

NSC の戦略的実行に関しては、2 段階で実施することとしている。まず、第 1 段階として、安全かつ効果的な NSC 建設を保証するための予備作業を行い、次にそれを実行するための計画を立てることである。



Rendering of NSC

(a quotation from Conceptual Design of the Chornobyl New safe Confinement – an Overview)

### **Berm Wall Removal**

NSC 基礎の建設のために、タービン南側にある pioneer wall を解体する必要がある。

pioneer wall 表層部分は、重機を入れ建設するための基礎として、建設現場下の Shelter の南側にスチール構造物を採用した。寸法は 103 × 26.05m、高さ 7.0m のコンクリート構造をした長方形をしている。2006 年 8 月 17 日に作業を開始し、2008 年 3 月 31 日に作業終了としている。

### **Site Clearance, Levelling and Excavation Works for Construction of NSC Foundation**

NSC 建設を円滑に実施するために、放射線の許容範囲を明らかにし、そのレベルを把握することが必要である。現在、作業は進行中で、評価も行われている。

### **Development of FCM removal strategy and waste management**

ウクライナの法律により、地質的に安定しているところにある貯蔵施設を除き、どのタイプの貯蔵施設であっても FCM を含む長寿命及び高レベルの放射性廃棄物の廃棄は禁止されている。このため、OS は FCM 及び長寿命の RAW 貯蔵施設としての転換はできない。一般的な基準によって、廃棄等されなければならない。これらの物質を将来除去することを考慮しながら、新たな問題解決を図らなければならないが、これは次世代に引き継がれることになる。

FCM 管理に係る予備的な方針としては、最終的な FCM 廃棄物を貯蔵する施設が利用可能となるまで、除去する時期を延期することである。すなわち、FCM のモニタリングを継続しつつ、数十年後まで待つということである。それは、国際的な専門家が、このエリアでの継続した作業を推奨していないことにある。さらに、FCM 除去に関する方針の進展し、不安定な Shelter 構造の早期解体の実行に道筋を得ることにある。

チェルノブイリ原発に係る SIP の課題等について

初期段階における 4 号炉プラントの補強工事については、補修不十分な部分があり、放射線(能)漏れの恐れが懸念される。

そのため、NSC 建設が 29 カ国の協力を受けながら進められている。

4 号炉内部に残存する FCM の処理については、具体的に決まっていない。

## 2. 環境放射線モニタリング調査

### 【目的】

チェルノブイリ原発周辺における環境放射線の現状把握

### 【方法】

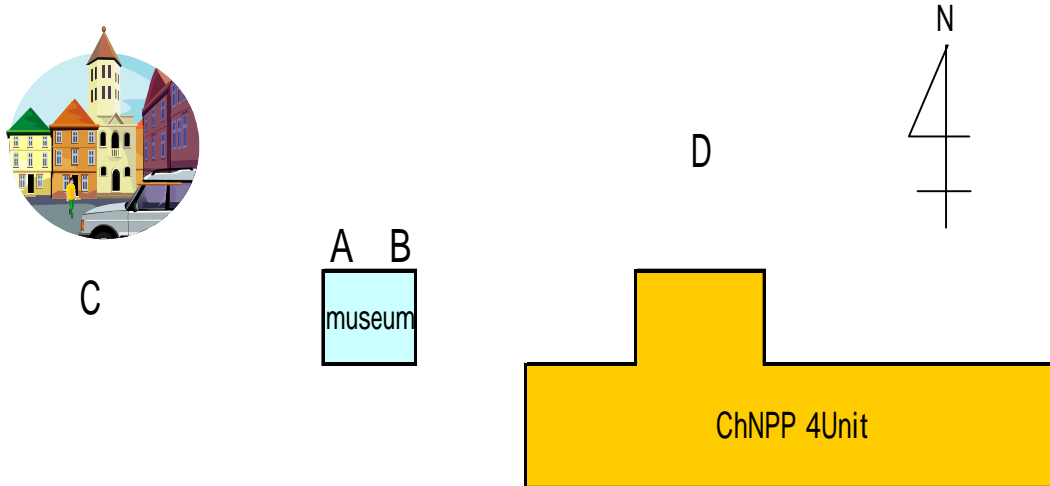
ポケット線量計(2 種)による同時測定を実施した。測定機種等については、次のとおり。

PDR-113(Aloka); 線量率( $\mu\text{Sv/h}$ ,  $\text{mSv/h}$ )の測定(瞬時値)

PDM-112(Aloka); 積算線量( $\mu\text{Sv}$ )の測定

### 【調査地点】

下図のとおり。(概略)



### 【結果】

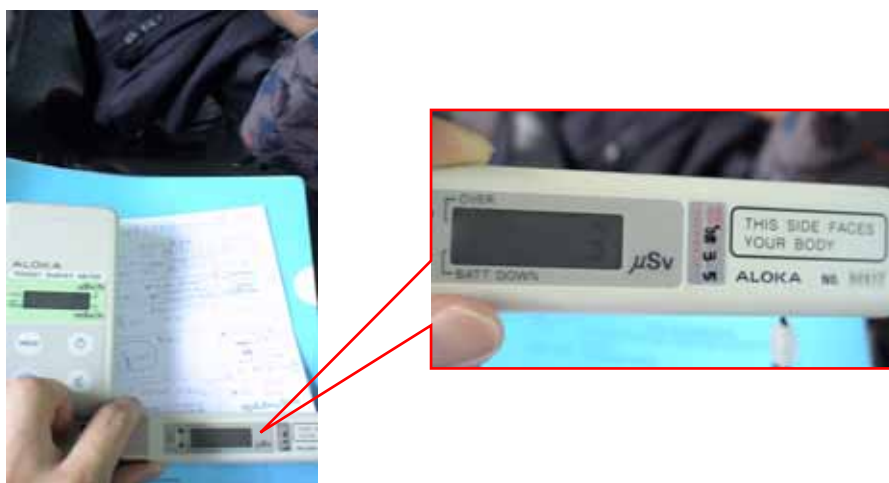
下表のとおり。(次項)

No.	Date	Time	time of measurement (minutes)	point	Data	Notes
	05/07/2008 (Sat)	16:14 ~ 18:54	160	Kiev	1 $\mu$ Sv(total of 3 days)  0.043 $\mu$ Sv/h	B.G
	06/06/2008 (Sun)	7:04 ~ 17:24	620	Kiev		B.G
	07/07/2008 (Mon)	7:39 ~ 18:00	621	Kiev		B.G GCOE seminar in RCRM
	08/07/2008 (Tue)	8:03 ~ 20:47	764	Kiev Getomel	0	B.G Visit Institute of Hygiene and Medical Ecology
	09/07/2008 (Wed)	9:08 ~ 14:29	321	Prypyat	[instant numerical] A. 2 ~ 3 $\mu$ Sv/h (in front of Museum at 10:09) B. 0 ~ 2 $\mu$ Sv/h (in Museum at 10:40) C. 0 ~ 7 $\mu$ Sv/h (tour on Prypyat) D. 0 ~ 4 $\mu$ Sv/h (Northern area of ChNPP) [total numerical] 1 $\mu$ Sv(10:48) 2 $\mu$ Sv(11:20) 3 $\mu$ Sv(14:06)(total)  0.56 $\mu$ Sv/h	Visit ChNPP station, museum,tour on Pripjat territory  Lunch in ChNPP cafeteria



### 【特記事項】

1. キエフを中心としたバックグラウンド調査では、線量率換算で平均  $0.043 \mu\text{Sv/h}$  であった。これは、日本における環境放射線量率と同等レベルであった。
2. チェルノブイリ原発周辺における調査では、線量率換算で平均  $0.56 \mu\text{Sv/h}$  であった。これは、キエフにおけるバックグラウンド調査の 10 倍以上であった。これは、自然放射線の世界平均(一人当たり  $2.4\text{mSv/y}$ ;  $0.27 \mu\text{Sv/h}$ )の約 2 倍であり、日本の水準 ( $0.99\text{mSv/y}$ ;  $0.11 \mu\text{Sv/h}$ ) あるいは人工放射線による一般公衆の線量限度 ( $1.0\text{mSv/y}$ ;  $0.11 \mu\text{Sv/h}$ ) の約 5 倍であった。
3. チェルノブイリ原発周辺における環境放射線の瞬時値は、最大  $7 \mu\text{Sv/h}$ (プリピャチ地区)であった。プリピャチ地区では、場所によって大きく数値が上昇するなど、事故による影響が残存していることが推測された。
4. チェルノブイリ原発 4 号炉北側では、最大  $4 \mu\text{Sv/h}$  であった。4 号炉北側を通過する前後では数値が上昇せず、建屋に近づくとともに線量率が上昇した。



モニタリング調査状況

### 【考察】

残存する核燃料の封じ込め作業を行っているが、施設関係者のコメントにもあったように、その作業は不十分なものであることから、原発周辺への影響による放射線量率(積算線量)の上昇が見られたものと考えられる。

ただし、一般的には即時的に人体や環境に影響を及ぼすレベルにはないことから、今後の継続した各種調査が期待される。

また、今後 NSC 建設等の封じ込め作業が続くことから、オンサイト作業者のモニタリングを十分に行う必要があると思われる。



補強した屋根等の老朽化が見られる(写真)

視察状況

< 30km ゾーンゲート >



НАЗВА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	Вміст радіонуклідів $^{137}\text{Cs}$ і $^{90}\text{Sr}$ в даних об'єктах, дослідження	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
ГРЯБИ	500 - 300 000	50 - 100
М'ЯСО ДИКИХ ТВАРИН	500 - 120 000	40 - 25 000
РИБА	50 - 14 000	10 - 2 200
ПОВЕРХНІ ВОДИ		
р. ПРЮНІТЬ	0,1 - 0,4	0,1 - 0,6
МАЛІ РІЧКИ	0,1 - 2	1 - 5
ЗАКРИТІ ВОДОЙНИ	1 - 20	10 - 150

現在も、土壌等から  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  が検出されている。

< ChNPP 30km 圏内 >





事故当時、消火活動に従事した消防隊員の記念碑。当時の勇敢な行動に敬意を表している。下の写真は、現在の消防隊の様子。



< Museum >



4号炉の破壊した炉心





< 4 号炉 >



photograph by Mr. Okada

Northwest (near the museum)



southwest



north

< Pripyat 地区 > \*チェルノブイリ原発従業員ら約 4 万 8000 人が住んでいた街





< 施設内の食堂 >



< 出典 >

1. Information analytical group of ChNPP, SIP 10 years of implementation
2. Information analytical group of ChNPP, web-site; <http://www.chnpp.gov.ua/>
3. Schmieman E, Wrona M, Conrvet P, Nemchivov Y, Belicard P, Durst M, Kulishenko V, Hogg C, Kulishenko VN, C Hogg, EA Schmieman, MW Wrona, P Convert, YI Nemchinov, V Shenderovich, V Shcherbin, P Belicard, and BM Durst. 2006. "Conceptual Design of the Chornobyl New Safe Confinement- an Overview." Canadian Nuclear Society Bulletin 25(2):9-16.
4. 2007「原子力・エネルギー」図面集