E102 チェルノブイリの廃炉への新たな取り組み

Initiative for decommissioning of Chernobyl Nuclear Plant

正 岡本 孝司 (東京大学)
正 水町 渉 (原子力安全協会)

正 奈良林 直 (北海道大学)
○非 藤井 有蔵 (日本エヌ・ユー・エス)

Koji OKAMOTO, Tokyo University, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo
Tadashi NARABAYASHI, Hokkaido University, Kita13jo-Nishi8chome, Kita-ku, Sapporo
Wataru MIZUMACHI, Nuclear Safety Research Association, 5-18-7 Shinbashi, Minato-ku, Tokyo
Yuzo FUJII, Japan NUS, 7-5-25 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo

Construction of the New Safety Confinement (NSC) for the Chernobyl unit 4 started 2010, after about 25 years of Chernobyl accident and will complete summer of 2015. This project is being conducted by assistance of EU, USA and other countries including Japan. NSC can cover the whole facility of unit 4, and is installed various components or tools including big bridge crane for decommissioning unit 4 and has durability over 100 years. In addition to construction of NSC, various activities for preparing the decommissioning including developing the technology of monitoring the inside of destructive building and remote access technologies. The spent fuel storage facility and waste proposal facilities are also constructed.

These activities include many valuable information about how to smoothly conduct the decommissioning and it would be important to learn the above activities in conducting the post-processing activities on the Fukushima-Daiichi accident successfully.

Key Words: Chernobyl, New Safe Confinement, Decommissioning, Remote access technology

1. チェルノブイリ原子力発電所の事故⁽¹⁾

チェルノブイリ原子力発電所 4 号機は 1986 年 4 月 26 日、不適切な試験操作で炉心の出力が急上昇し、水蒸気爆発により原子炉と炉心周辺の構造物の一部が破壊されることにより大量の核分裂生成物が環境に放出された。燃料は崩壊熱により一旦溶融した後、周辺のコンクリート構造物等と融合・再凝固し、燃料含有物質 (FCM: Fuel Containing Materials) といわれるものになった。また、放出された多量の放射性物質により当時のソ連を中心に広大な地域が放射性物質で汚染されることになった。

2. 当初シェルター(石棺)の建設⁽²⁾⁽³⁾

チェルノブイリ事故後、発電所施設の安全確保、放射性物質の閉じ込め、住民の被ばく低減等について様々な対策が必要となった。その中でも原子炉建屋の中に多量の FCM や核分裂生成物が残っており、これらが建屋外に漏洩あるいは飛散することを防止することが重要な対応となった。

チェルノブイリ 4 号機は RBMK というソ連型の黒鉛原子炉で、もともと格納容器がない原子炉であった。さらに炉心周辺の構

築物も破壊されたことから、事故後多量の FCM や放射性物質は環境から隔離されない形で放置された状態となった。

この状態を解消するため 4 号機を囲むシェルター (石棺) が建設された。シェルターの建設は急を要することから事故後に残っ

Fig-1 Original Shelter

ている建屋の壁を利用し、それ以外に現場で保管されていた資材等を活用し、事故後6ヶ月程度で建設された。しかしながら、急ごしらえのため十分な密閉性が確保されておらず、放射性ダストや放射性物質を含む水の流出が心配された。さらに時間経過とともに劣化が進み、強度や耐久性にも問題があった。図-1に現在の石棺の概観を示す。チェルノブイリを最終的に廃炉にするためには燃料や放射性物質等の取り出し、設備や機器の解体・取り出しのための設備が必要であるが、急ごしらえのシェルターではこれらの設備を設置するのは難しい状態であった。

3. 廃炉に向けて新シェルターの建設⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

3. 1 新シェルターの目的

当初の石棺の問題点を解消し、4号炉全体をカバーし、放射性物質等の漏洩を防ぐためには、長期にわたって密閉機能を有する新シェルター（NSC：New Safe Confinement）の建設が喫緊の課題であった。さらに重要な点としてチェルノブイリ原子力発電所は廃炉にすることがきめられており、4号炉について本格的な廃炉を行うためには新シェルターの建設が必須であった。

3. 2 新シェルターの建設計画

新シェルターの建設は多額の資金と高度の技術が必要のため、当事国のウクライナだけでは対応が困難であり、西側が資金面、計画・技術面で協力して行っている。

建設に向けては、1997年に基金が設けられ、2004年に新シェルターの設計・建設についての入札が実施、2007年にコンソーシアムのNOVOKAとの契約実施、2010年に建設作業が開始された。

建設費用は検討過程で変更されてきているが、現時点で1500億円程度と見込まれる。

3. 3 新シェルターの設計仕様

新シェルターは鉄骨で組み立てられ、ステンレス板を外面に取付けたアーチ状（かまぼこ状）の形状をしている。その仕様は以下のとおりであり、100年以上にわたって構築物としての機能を維持するものとして、換気空調装置等を設置することによりメンテナンスを出来るだけ減らせるようにしている（図-2）。

- ・ スパン - 250 m
- ・ 長さ - 150 m
- ・ 高さ - 110 m
- ・ 重量 - 30 000 トン
- ・ 耐久年数 - 100 年

新シェルターは現在の石棺を覆うように作られる。これにより密閉性能を向上させ、雨、風、雪が内部に入らないようにする

とともに、逆に内部の浮遊性及び液体の放射性物質が環境に放出されないようにする。

新シェルターは廃炉のための設備を持つことが重要であり、シェルターのアーチ部に2基のブリッジクレーンが設置される設計となっている。各クレーンは84m スパンのレール上を移動することができ、以下に示す、さまざまな取替え可能な吊り上げ工具を取り付けることが出来る。

- ・ 一般的な50トンの吊り上げ能力のもの
- ・ 作業員が遮蔽された形で乗ることが出来、50トンの吊り上げ能力を持つ
- ・ 解体に用いるさまざまな可動工具を先端に取り付けることが出来、75mまで延長が出来る移動可能な機器の台車を支持する能力を持つ。

シェルターには地震や放射線のモニター機器が設置される。また、旧ソ連でよく用いられているMSKスケールで6の地震に耐えられるようになっている。

Fig-2 Conceptual picture of NSC

3. 4 新シェルターの建設

チェルノブイリサイトの4号機付近では未だに放射線量が高いため、新シェルター建設のための作業員の被曝を抑える方法として、4号機の炉心から600mはなれた場所の比較的放射線量が低い場所で新シェルターを組み立て、組み立て後4号機の場所にレールを使って移動する方法を採っている。それでもシェルターは高さが100mを超えることから、上部位置では周辺からの放射線を受けて放射線量は高い値となる。そのため作業員が30m以上高いところで作業をしなくても良いような、新シェルターの組み立て方式が検討された。その結果、新シェルターの上部（第1セグメント）をまず地上で製作し、それをジャッキアップし、その下に次のセグメントを製作していくことを繰り返していく方式がとられている（図-3）。2012年11月現在で第1セグメント（アーチの上部）が22mまで持ち上げられている。

Fig.3 NSC under construction

アーチの組み立てが進んできた段階で内部の機器の取り付けが始まる。最も重要な機器はクレーンであり、これは無線の遠隔操作方式のものとなっている。クレーンが設置されると新シェルターは最終場所（4号機の位置）へとレール上を約600m移動する。構築物の腐食対策については、良く知られているエッフェル塔では継続的に塗装を行っているが、新シェルターでは放射線の影響がありそのような方法が採れない。そこで、チューブ管の構築物と上部覆いのステンレス板の間の空調を行い、新シェルターの上部の温度を上げることにより、設備への水の凝縮を防ぎ、チューブ管の腐食を抑えることが出来るようにしている。

4. 使用済燃料貯蔵施設、放射性廃棄物処理施設⁽²⁾⁽³⁾

事故を起こしたチェルノブイリ4号機以外の1-3号機についても今後廃炉措置が進められる。現在チェルノブイリの使用済燃料貯蔵プールで21,000体の使用済燃料が貯蔵されているが、これらの使用済燃料は廃炉措置に伴いプールから取り出さなければならない。そのためチェルノブイリサイトには乾式の第2貯蔵施設が建設されている。

さらに、サイトに土壌、金属、コンクリートなどの中・低レベル放射性廃棄物（50万 m^3 程度）、放射線レベルの高い廃棄物として2800t以上のFCM、原子炉、黒鉛、燃料粉塵等が存在しており、900 m^3 /年の低レベル液体放射性廃棄物がシェルター内からポンプで排出され、サイトの液体放射性廃棄物処理・貯蔵施設に移送されている。

これら放射性廃棄物の処理施設についてもこれまで十分なものは言いえないことから、放射性廃棄物管理システムの強化策として放射性液体廃棄物処理場、放射性固体廃棄物総合処理場(図-4)、長尺スクラップ解体施設等の建設・改造が行われている。

放射性廃棄物は、最終的にはこれらの施設に輸送され

た後、処理・処分される。

Fig.4 Radioactive Solid Waste processing Facility

5. モニタリング及びロボット技術開発⁽²⁾⁽³⁾

4号機の廃炉を行う場合に炉心周辺等の内部の状況を十分に確認した上で設備の解体・運搬を行う必要がある。しかし、4号機の内部は長期にわたって放射能レベルが高い状態が続いており、作業員が立ち入れる状況ではない、そのため廃炉措置を進める中で内部の状況を確認するための遠隔モニタリング装置の開発や内部で作業を行うロボティクスの技術開発が重要となっている。これまでのモニタリングの方法は建屋構築物（壁等）にボーリングを行い、そこからコアサンプリングを行ったり、ファイバースコープによる観察が行われている。ロボットについてはスウェーデン製の解体ロボット等が使用されており、内部の強い放射線に長期に耐える装置としてケーブルを利用し、遠隔操作できる仕組みのものが導入されている。

内部状況のモニタリングのほか現状の石棺からの浮遊性放射性物質の漏洩状況や敷地での放射線レベルの監視も継続して行われている。

6. 廃炉に向けてのプロセスでの危険抑制策⁽²⁾

以上チェルノブイリ4号機に対する新シェルターの建設を中心にチェルノブイリ原子力発電所での廃炉に向けての取り組みを示したが、これらの対応プロセスで作業員、住民、環境を潜在的な核的な面、放射能面での危険から防護することが重要である。

そのためチェルノブイリでは①優先プロジェクト研究の実施、②原発事故の影響軽減、③作業員と自然環境の安全性向上、④原発事故後の現場を環境的に安全なレベルに改善の4方針を定め、それぞれの方針に対する具体的措置が明確化し、それに基づく対応を行っている（図-5）。

7. 福島第一の廃炉作業への反映

参考文献

Fig.5 Strategy for protecting the personnel, people and environment from the nuclear and Radiation risk

福島第一においても廃炉に向けて作業が進んでいるが、チェルノブイリの廃炉対応は福島第一の対応の少し前を進んでいる部分も多いと考えられる。チェルノブイリの対応では、新シエルターの建設及び長期にわたっての設備の機能維持方策、廃炉対応機器の開発、作業員の被曝低限方策、廃炉計画の方針と手順明確化等について積極的な対応が行われており、今後の福島第一の廃炉にむけての検討の参考になる部分が多くあると考えられる。

- (1) 昭和 61 年 原子力安全年報 原子力安全委員会 第 1 編
ソ連原子力発電所事故 昭和 61 年 12 月
- (2) 1986 年チェルノブイリ原子力発電所 (旧ソ連) 事故から学ぶ
3.11 後処理戦略 日本機械学会動力エネルギーシステム部門原子
力の安全規制の最適化に関する研究会シンポジウム 2012
- (3) Twenty-five Years after Chernobyl Accident: Safety for the Future
National Report of Ukraine 2011
- (4) Building Chernobyl's New Safe Confinement
<http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/building-chemobyl-s-new-safe-confinement/1015479.article>