

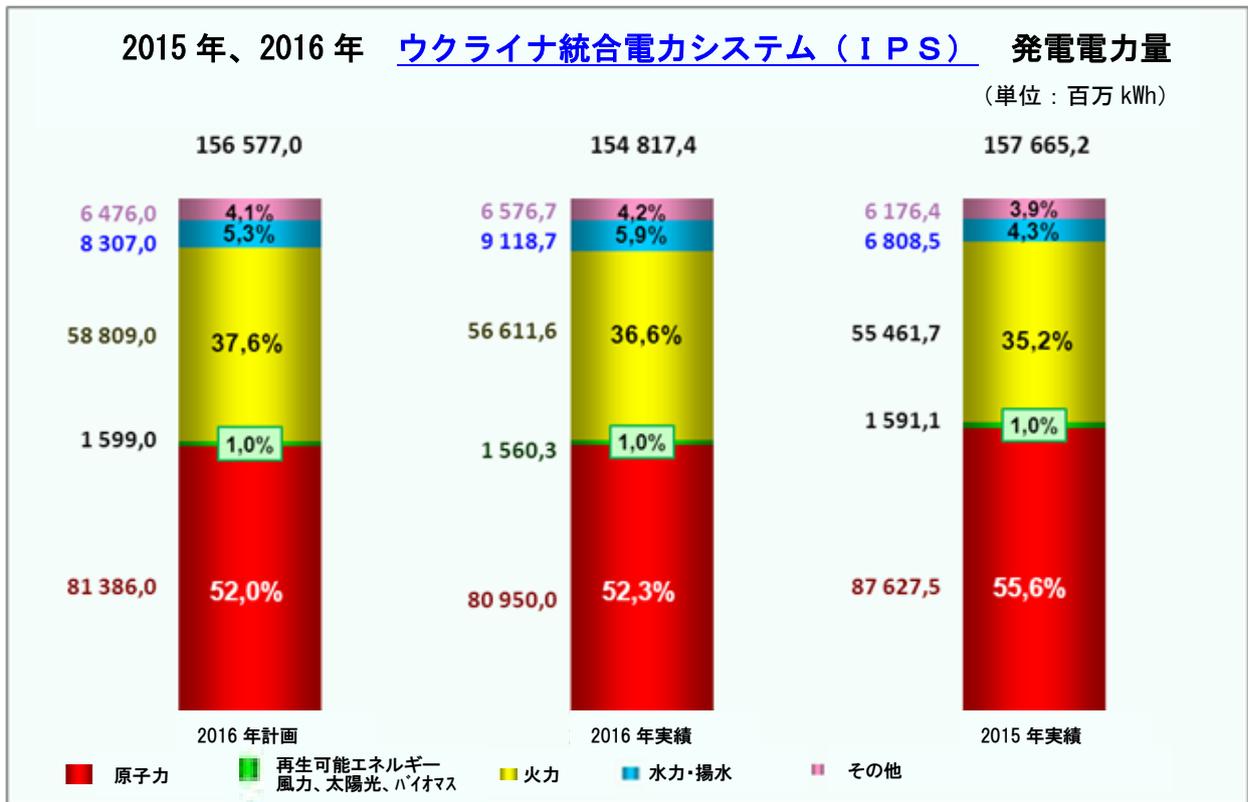
# ウクライナの電力・原子力事情

## 目次

<a href="#">ウクライナの電力事情</a> . . . . .	1
<a href="#">ウクライナの原子力事情</a> . . . . .	8
<a href="#">チェルノブイリ原子力発電所（事故後）</a> . . . . .	12

2017年6月

# ウクライナの電力事情



出所: [エネルギー・石炭産業省](#)

## 発送電設備

### 発電設備数 (2016年)

- 火力発電所: 14
- 原子力発電所: 4
- 水力・揚水発電所: 10 (7/3)
- 熱電併給・小規模水力、風力、太陽光発電他: 97

### 総発電設備容量 55,331 MW (2016年)

- 火力発電所: 27,845 MW (50.3%)
- 熱電併給発電所: 6,469 MW (11.7%)
- 原子力発電所: 13,835 MW (25%)
- 水力発電所: 4,711 MW (8.5%)
- 揚水発電所: 1,510 MW (2.7%)
- 再生可能エネルギー発電所: 961 MW (1.7%)  
(太陽光、風力、バイオマス)

### 変電所 137

- 750kV: 88
- 330-500kV: 92
- 110-220kV: 37

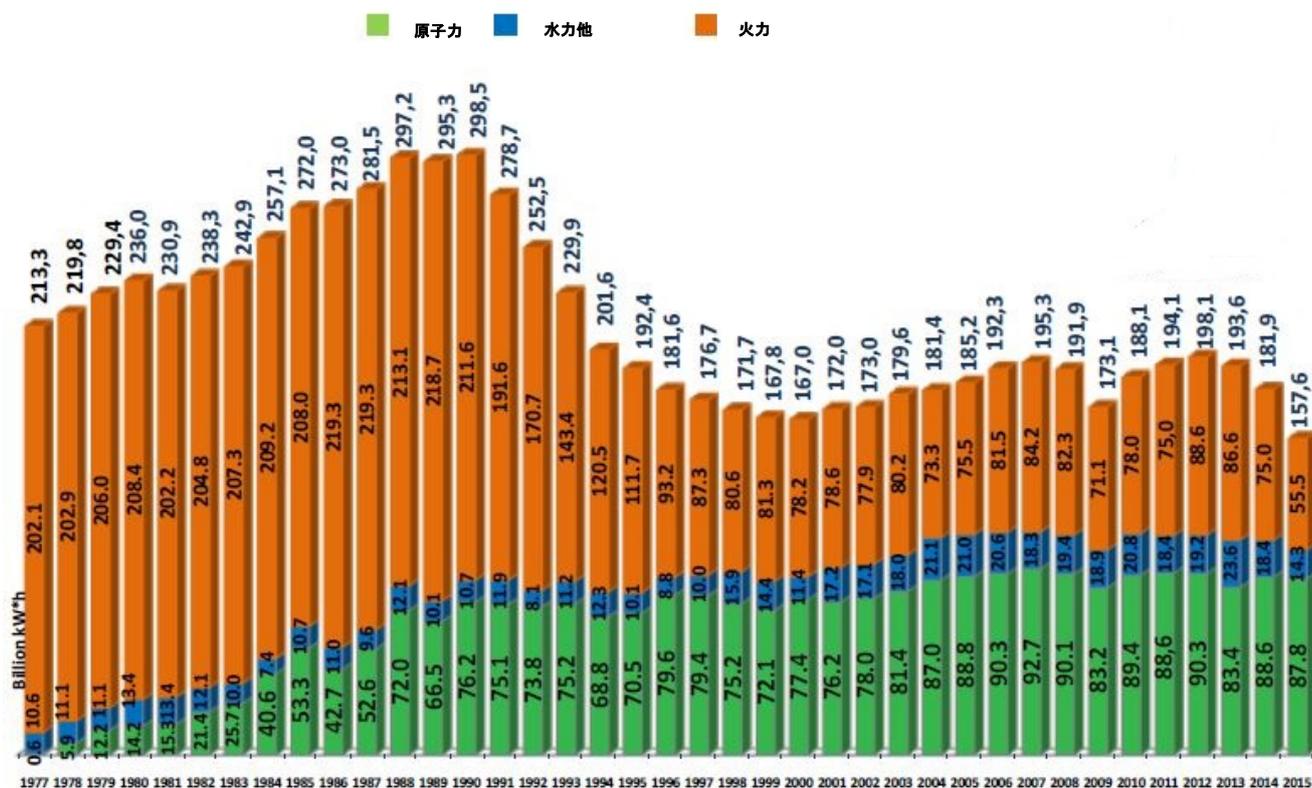
### 高圧線 23,000km

- 750kV: 4,200km
- 330-500kV: 14,100km
- 220kV: 4,700km
- 444 単巻変圧器 (78553.1MVA)

出所: [ウクレエネルギー](#)

## 発電電力量の推移 (1977年～2015年)

(単位：10億 kWh)



出所：[エネルギーアトム](#)

## 発電設備容量 (2014年～2016年)

(単位：MW)

	2014年	2015年	2016年
火力発電所	27,700	27,723	27,845
熱電併給発電所	6,443	6,541	6,469
水力発電所	4,668	4,692	4,711
揚水発電所	1,186	1,510	1,510
原子力発電所	13,835	13,835	13,835
再生可能エネルギー発電所(太陽光、風力、パナマ)	811	1,168	961
<b>合計</b>	<b>54,643</b>	<b>55,469</b>	<b>55,331</b>

出所：[ウクレエネルギー](#)

## 発電設備容量予測

(単位：MW)



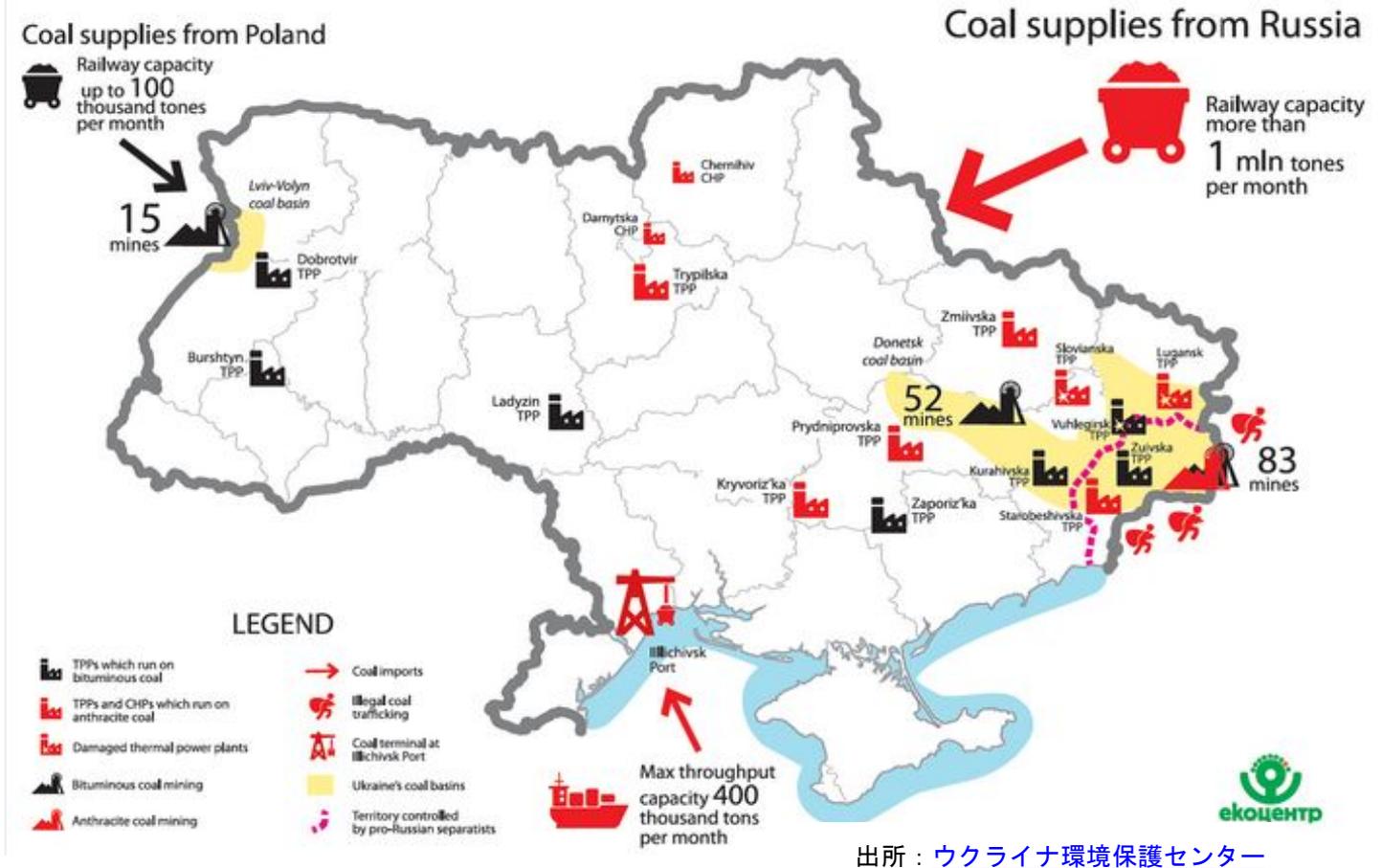
## 電力消費量予測

(単位：百万 kWh)



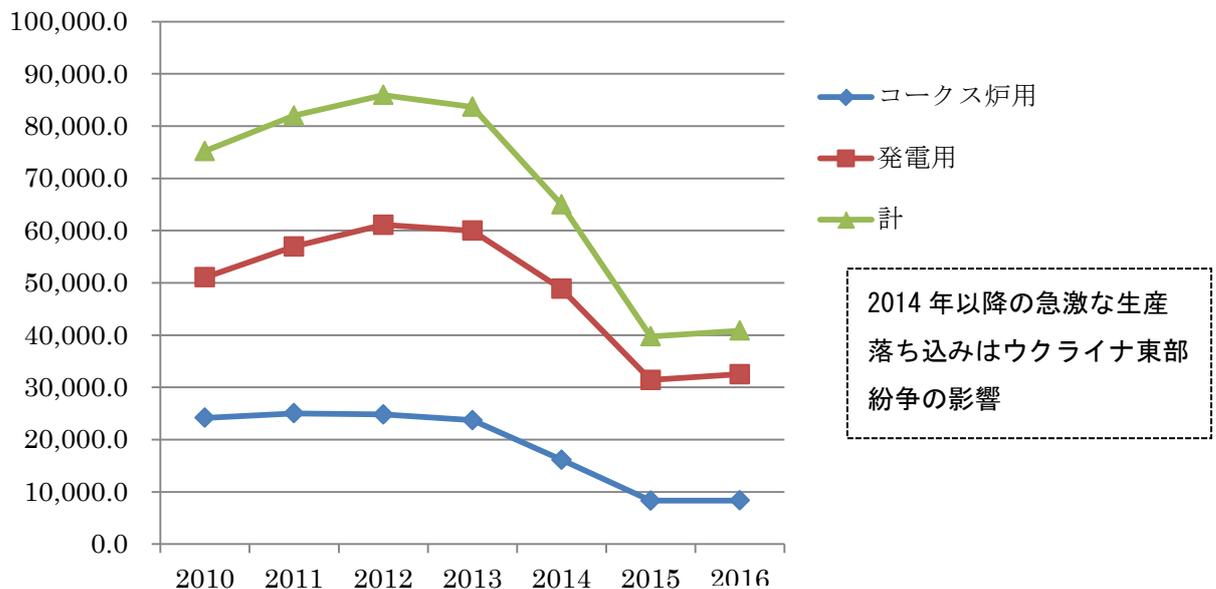
出所：[ウクレエネルゴ](#)

## ウクライナ石炭産業 (2015年) 石炭火力発電、炭鉱



## ウクライナ石炭生産量 (2010年～2016年)

単位：千トン



出所：[エネルギー・石炭産業省](http://www.enr.gov.ua/)

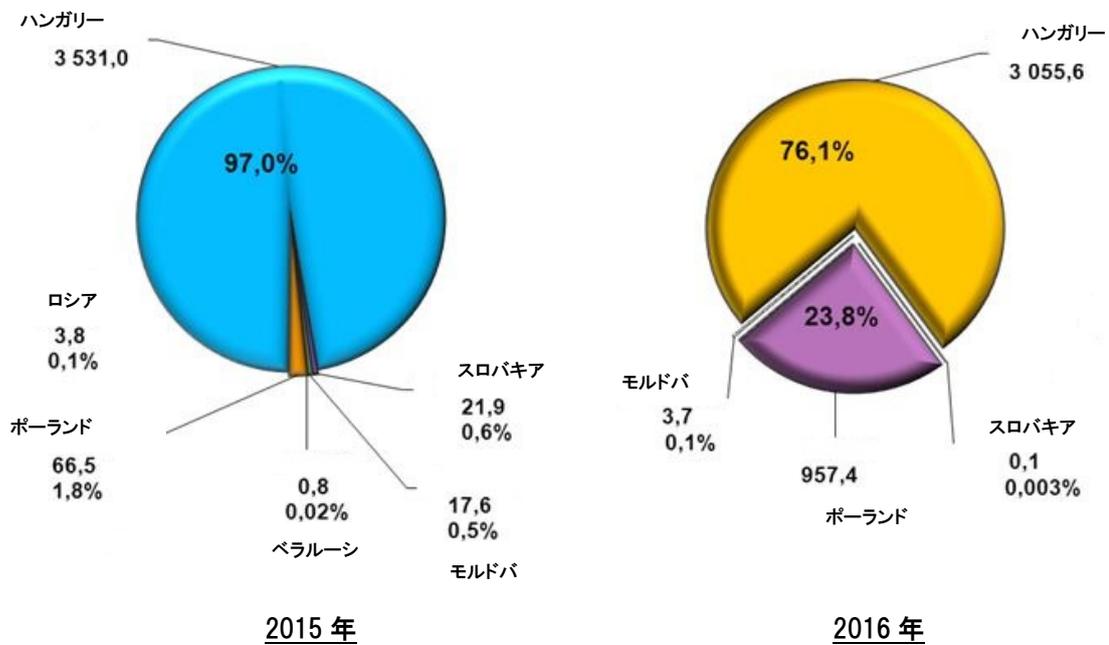


## 課題

- ・ 原子力発電は総発電電力量の過半数を占めるベースロード電源。寿命延長作業の順調な進展が鍵。
- ・ 火力発電プラントの老朽化、非効率性（平均稼働年数 45～50 年、主要機器の 80～90%が老朽化）
- ・ 大きな送配電ロス（2015 年実績、約 22%）。
- ・ ウクライナの発電設備容量の約 50%を火力発電が占める。内、95%が石炭火力発電。燃料は無煙炭と瀝青炭 (50/50)。無煙炭は中央政府と独立をめぐって抗争の続くウクライナ東部のドネツク、ルハンスク州で生産されており、同地域産の無煙炭への依存を回避、輸入や他の石炭焼き発電（ガス・石炭）への転換、褐炭や可燃性頁岩層の開発を志向。
- ・ 大気中への有害物質（粉塵、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）の排出（EU 基準を大幅超過）。

## 電力輸出量と輸出先（2015 年、2016 年）

（単位：百万 kWh）



## 電力輸出量（2010 年～2016 年）

（単位：百万 kWh）

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
4,218.10	6,433.00	9,745.30	9,861.50	8,052.80	3,641.60	4,016.90

出所：[エネルギー・石炭産業省](#)

# ウクライナの電力輸出入能力

(単位: MW)

## CAPACITY OF ELECTRICITY EXPORT/IMPORT FROM/TO THE IPS OF UKRAINE



### Burshtyn TPP Island

総発電設備容量： 2500MW

Burshtyn 火力発電： 2300MW

Kaluska 熱電供給： 200MW

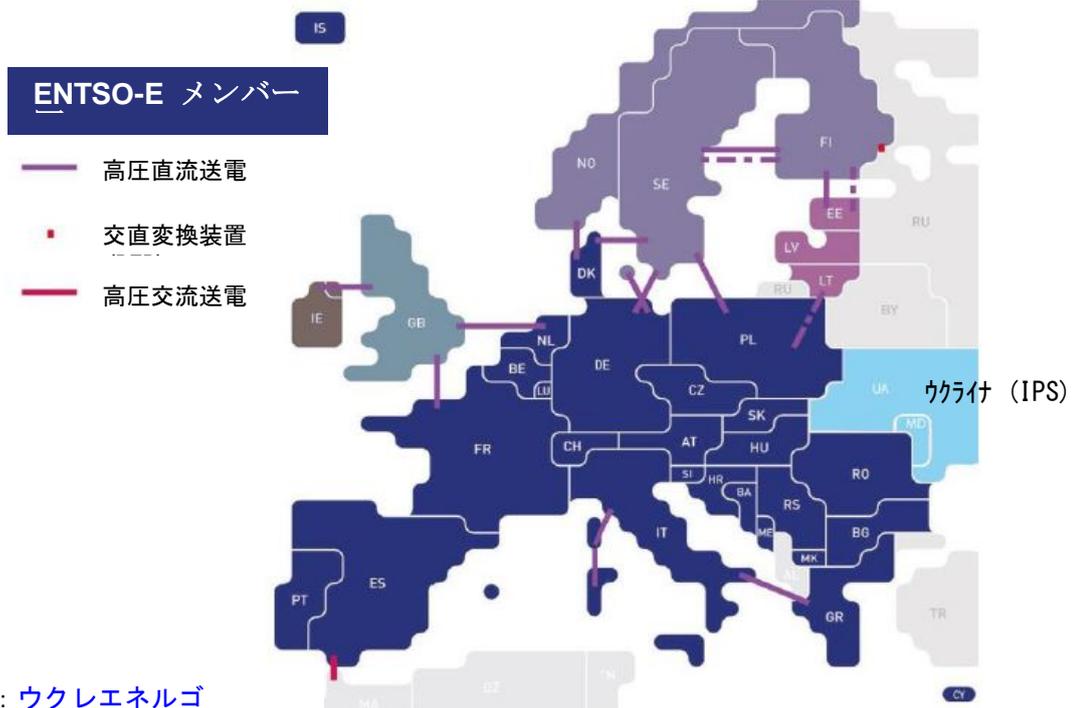
Tereblye-Riksa 水力発電： 27MW

総発電量： 9.8TWh/年

輸出能力： 650MW

1993年ウクライナ IPS から遮断。

スロバキア、ハンガリー、ルーマニア経由で ENTSO-E (欧州送電系統運用者ネットワーク) と繋がる。



出所：ウクレエネルゴ

## ウクライナIPSと欧州のENTSO-E 連結プロジェクト “Energy Bridge”

既存の 750kV の送電線の復旧で 1.3GW の電力がウクライナを經由して欧州各地域で流通（ドイツ、ポーランドからウクライナを經由、ハンガリー、ルーマニア、バルカン半島諸国に送電）

フメルニツキ原子力発電所 2 号機 (1000MW) を組み入れ、Burshtyn TPP island 経由で 1.55GW ~2.55GW の輸出（2019 年送電開始予定）。  
ウクライナ IPS、ENTSO-E とフル同期（2025 年開始予定）で、EU に対して 4GW 輸出も可能。

ENTSO-E との連結により、フメルニツキ発電所サイトにおける電源喪失時の電力供給、ウクライナ IPS、ENTSO-E 内の想定外事故発生時の系統運用の安全を確保。

### プロジェクトコスト

- ウクレエネルゴ社：既存 750kV 送電線の改修と効率向上  
ウクライナ IPS と Burshtyn TPP island との連結 €800 万
- エネルゴアトム社：  
フメルニツキ原発 2 号機の近代化作業と Burshtyn TPP Island への送電 €1,600 万  
フメルニツキ原発 3 号機の補助変圧器の先行設置（2 号機の需要電源確保）€3,100 万

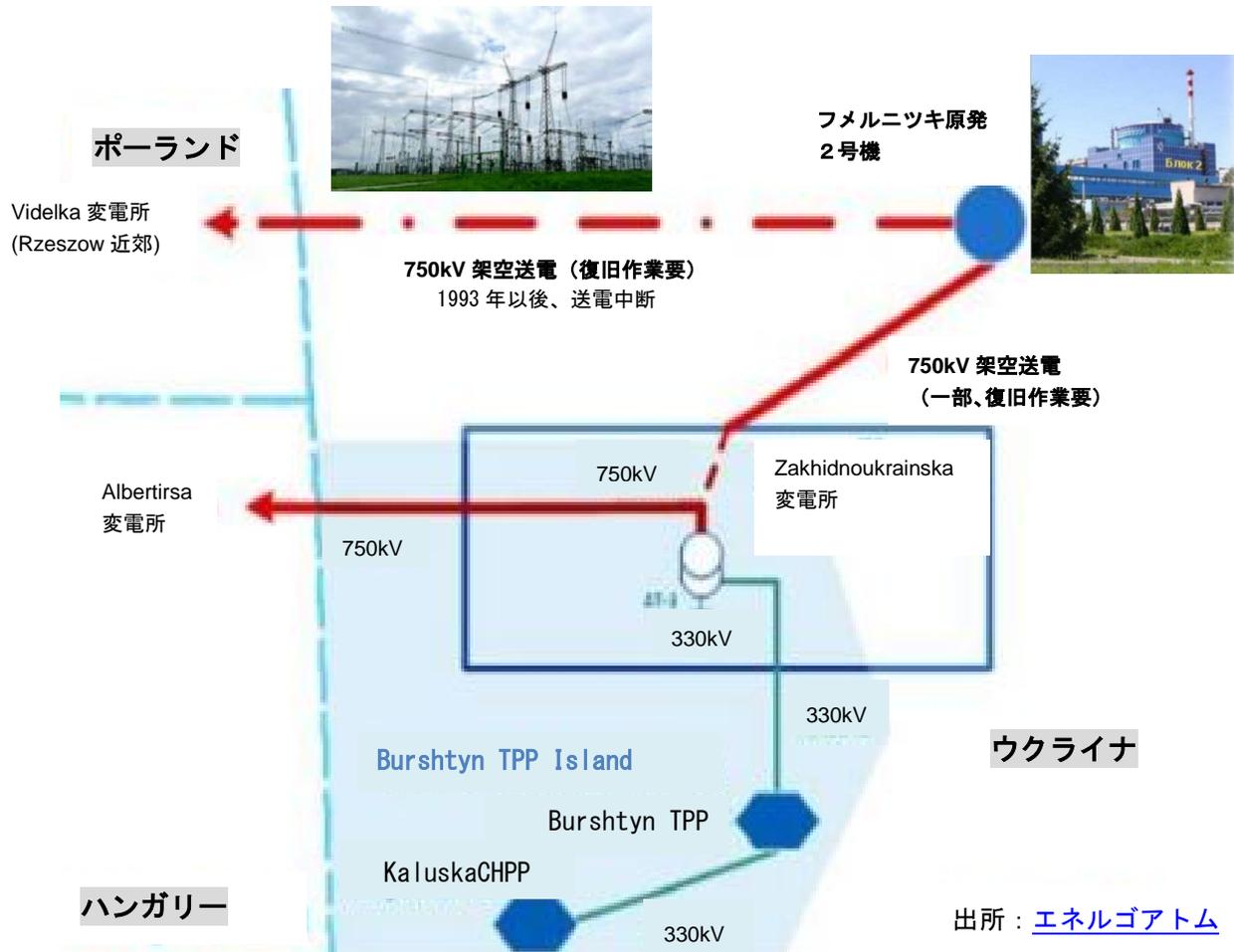
投資プロジェクト（Public Private Partnership, PPP）で実施。

投資回収は欧州市場での電力販売による。

フメルニツキ NPP 2 号機の発電電力の輸出により、投資家と長期の買電契約（PPA）を締結、フメルニツキ 3 号機、4 号機の建設資金に充当。

（フメルニツキ原発 3 号機、4 号機の建設は 73%、28% 完了で中断）

ウクライナの電力料金 €16.3/MWh。EU の電力料金は、今後 20 年で、年 1% 上昇で、€36~50/MWh となり、投資分を考慮して十分に競争力をもつものと考えられている。



# ウクライナの原子力事情



	号機	炉型	電気出力 MW	建設開始	運転開始 (初併入)	運転期間終了 設定	寿命延長 (年数)
<a href="#">ザポロジエ原発</a> Zaporozhe NPP ザポリージャ州 エネルゴダル市	1	VVER-1000/320	1000	1980.4	1984.12.10	2015.12.23	2025.12.23(10)
	2	VVER-1000/320	1000	1981.4	1985.7.22	2015.2.19	2025.2.19(10)
	3	VVER-1000/320	1000	1982.4	1986.12.10	2017.3.5	作業中
	4	VVER-1000/320	1000	1984.1	1987.12.18	2018.4.4	作業中
	5	VVER-1000/320	1000	1985.7	1989.8.14	2020.5.27	計画中
	6	VVER-1000/320	1000	1986.6	1995.10.19	2026.10.21	計画中
<a href="#">ロブノ原発</a> Rovno NPP ロブノ州 クズネツォフスク市	1	VVER-440/213	420	1976.8	1980.12.22	2010.12.22	2030.12.22(20)
	2	VVER-440/213	415	1977.10	1981.12.22	2011.12.22	2031.12.22(20)
	3	VVER-1000/320	1000	1981.2	1986.12.21	2017.12.11	作業中
	4	VVER-1000/320	1000	1986.8	2004.10.10	2035.6.7	計画中
<a href="#">南ウクライナ原発</a> South Ukraine NPP ニコラエフ州 ジノウクラインスク市	1	VVER-1000/302	1000	1977.3	1982.12.31	2013.12.2	2023.12.2(10)
	2	VVER-1000/338	1000	1979.10	1985.1.6	2015.5.12	2025.12.31(10)
	3	VVER-1000/320	1000	1985.2	1989.9.20	2020.2.10	作業中
<a href="#">フメルニツキ原発</a> Khmelnitski NPP フメルニルキ州 ネティシン市	1	VVER-1000/320	1000	1981.11	1987.12.22	2018.12.13	作業中
	2	VVER-1000/320	1000	1985.2	2004.8.7	2035.9.7	計画中
			<b>13,835</b>				

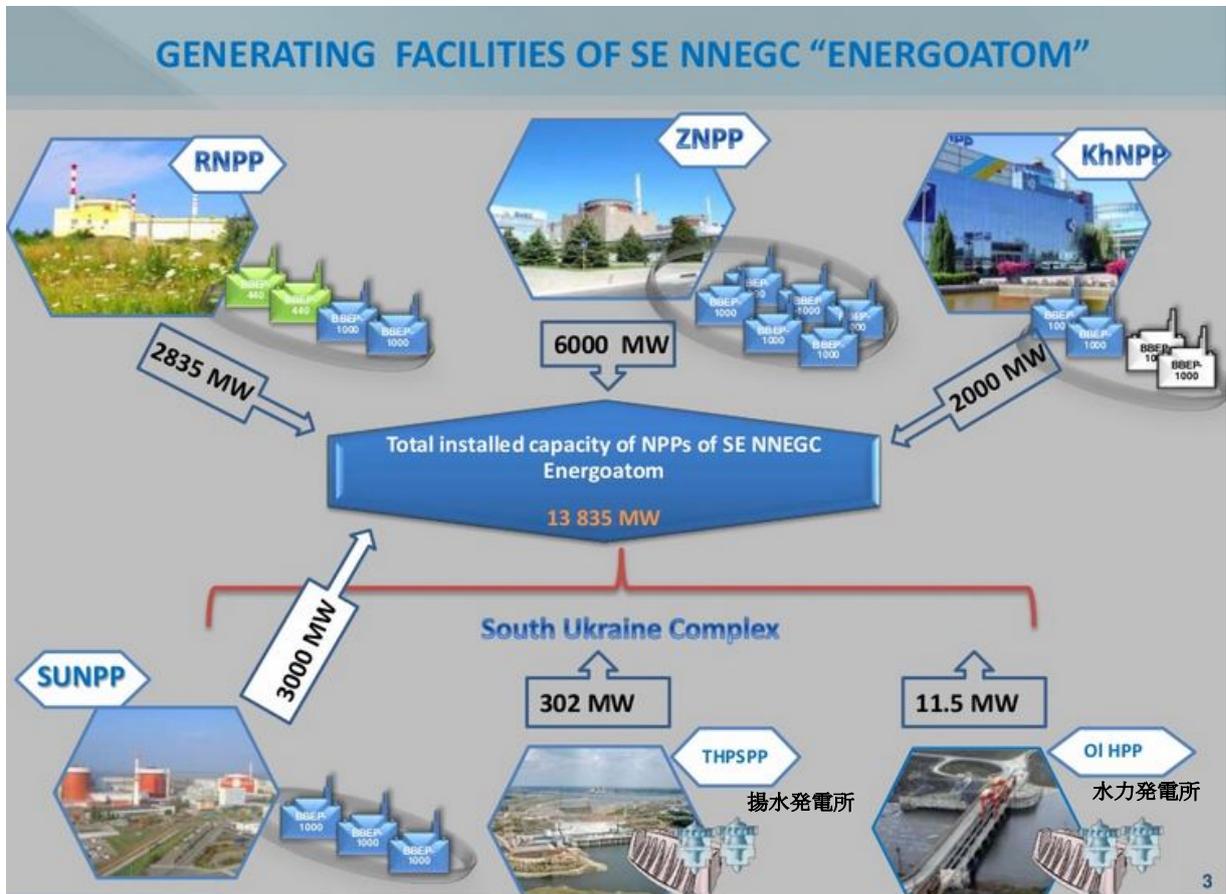
\*ウクライナの原子力発電所の設計寿命は 30 年。

## 国営企業 エネルゴアトム

英語名：State Enterprise “National Nuclear Energy Generating Company “Energoatom”

ウクライナの全原発の所有者・運転者

- ・ 1996年設立。エネルギー・石炭産業省が所管。
- ・ 従業員数：約36,000人



### エネルゴアトムの主要な活動

1. 安全な発電
2. 原子力発電所の安全性向上
3. 原子炉の新設と既存炉の寿命延長
4. 使用済燃料と放射性廃棄物管理の国家インフラの設置
5. 従業員の継続教育

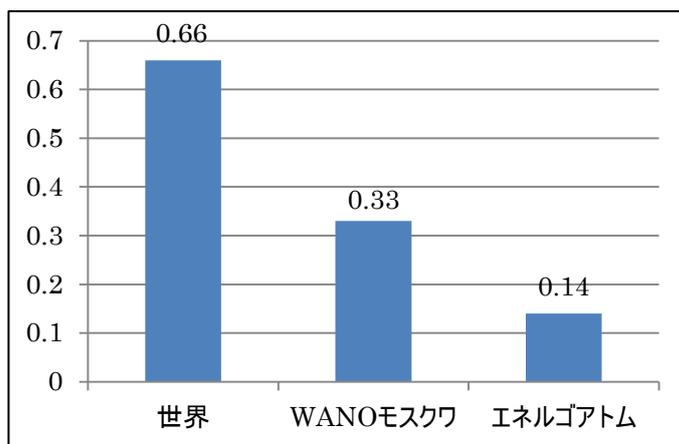
### ※最近の動き

～福島事故の教訓を踏まえた安全対策。“ロシア離れ”顕著。

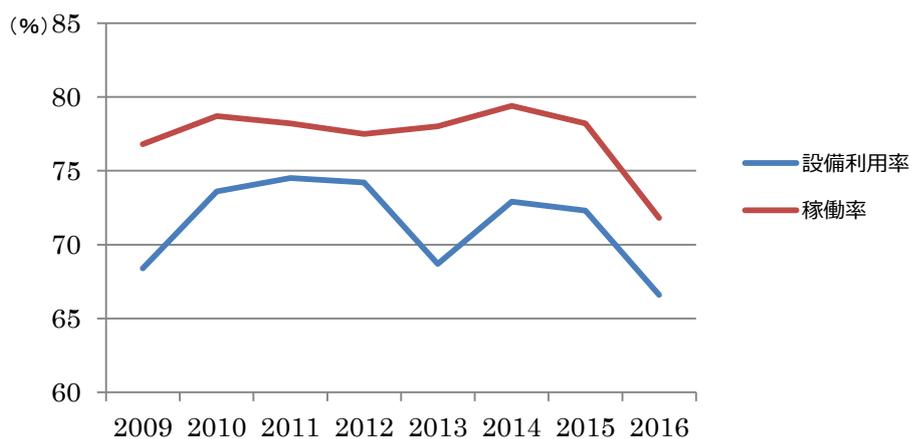
- ・ 規制局との連携により、福島事故の教訓を踏まえた安全対策の実施、ウクライナの全原発の安全レビュー（ストレステスト）により、運転信頼性を確認。
- ・ 原子力発電所主要機器（一次系、原子炉、加圧器等）の供給先の模索（ロシア製を除く）。
- ・ 燃料供給：米・ウェスティングハウス社（WH）と契約（～2020年までWH社がTVS-WR燃料を供給。南ウクライナ原発2,3号機、ザポロジエ原発1号機、3～5号機の計6基に装荷予定。2016年WH社からの購入実績は162百万ドル。総購入額の約30%（残り70%はロシア製）。

- ・ 中央使用済燃料乾式貯蔵室の建設：米・Holtec International と協力。チェルノブイリ立入禁止区域に建設予定。将来炉のエネルギー資源の保管。ロシアへの使用済燃料輸送・再処理委託の廃止へ。
- ・ 従来のベースロード用運転から負荷追従運転にむけた技術の習得（電力産業の新市場モデル、契約ベース市場参入への対応）。
- ・ フメルニツキ原発 2 号機から近隣東欧諸国への電力輸出にむけた送電網の整備、原子炉の近代化や寿命延長の資金調達の可能性の調査。
- ・ 投資や借入資本の誘致促進、民営化にむけた活動の開始。

### ウクライナの原子炉 7000 炉運転時間あたりのスクラム頻度（平均）

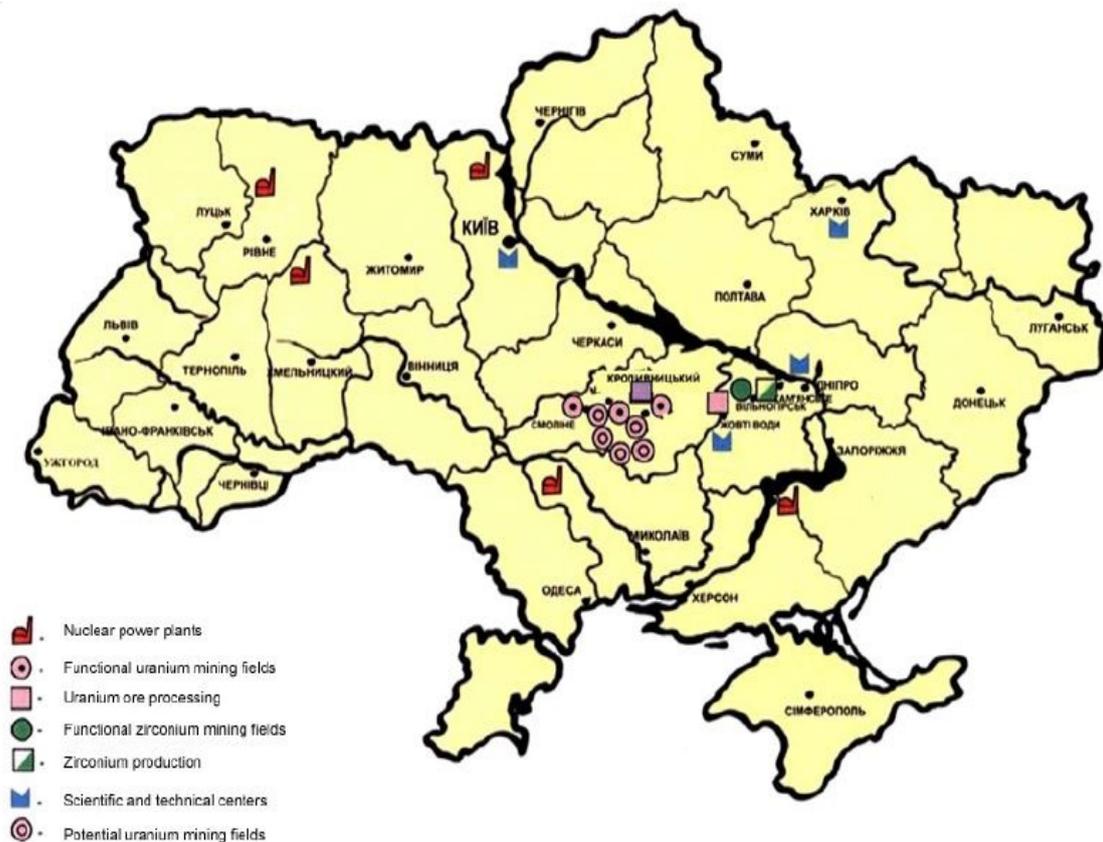


### ウクライナの全原子力発電所の設備利用率と稼働率（2009 年～2016 年）



出所：[エネルゴアトム](#)

## ウクライナ原子力産業コンプレックス



- ・ ウラン粗製錬：State Enterprise “Eastern Mining and Ore-Dressing Combine” で実施。
- ・ イエロー・ケーキ生産量：1005.1t（2016年実績）。2480 t（2020年目標）。
- ・ ウラン鉱山（操業中）Ingul mine 460kt/年、Smolino mine 400kt/年  
（開発中）Novokonstyantynivka mine 1,500kt/年
- ・ 鉱石浸出処理容量：800kt/年
- ・ 酸化ジルコニウム既存設備容量の改良（320 t/年）
- ・ ジルコニウムスポンジ生産設備の立ち上げ（250 t/年）
- ・ 中長期的目標：ウクライナ全原発の需要（天然ウラン）の100%充足（現在40%）、燃料製造（濃縮除く）

### 原子力研究開発・支援体制

ソ連崩壊後、科学技術、設計、エンジニアリング支援をロシアに大きく依存（VVER炉設計：ギドロプレス、科学技術監督：クルチャトフ研究所、設計契約：アトムエネルゴプロジェクト）。自国に同等機能を有する体制を確立。

（設計エンジニアリング）

- ・ エネルゴプロジェクト（[キエフ](#)、[ハリコフ](#)）
- ・ [ウクライナ科学アカデミー](#) 材料強度研究所、電気溶接研究所等

（科学技術エンジニアリング支援）

- ・ [ハリコフ物理技術研究所](#)（炉心設計）
- ・ [原子力研究所](#)
- ・ [国家原子力放射線安全科学技術センター](#)（[原子力規制局](#)の支援組織）
- ・ [科学技術センター](#)（エネルゴアトム部門）

# チェルノブイリ原子力発電所（事故後）

出所：[SSE Chernobyl NPP](#)

## 体制

### 国家専門企業“チェルノブイリ発電所”

State Specialized Enterprise Chernobyl NPP (SSE Chernobyl NPP)

2001年6月11日に設立（事故前の発電所運営機関の[エネルゴアトム](#)から独立）

## 設立法基盤

- ウクライナ大統領令 1084 号（2000 年 9 月 25 日）
- ウクライナ閣議決定 399 号（2001 年 4 月 25 日）
- ウクライナ閣議決定 1532 号（2001 年 11 月 17 日）チェルノブイリ原発の対応機関に認定

## 活動内容

- 原子力施設、廃棄物処理 使用済燃料管理施設、デコミッショニング作業施設、立入禁止区域の安全確保
- チェルノブイリ 1, 2, 3 号機、他ウクライナ原発の安全なデコミッショニング
- シェルター施設（石棺）の環境的に安全なシステムへの移行
- 人材トレーニング
- サイトの環境モニタリング
- 原子力施設のデコミッショニングに係る技術開発、事故影響復旧、デコミッショニングに係る知見の蓄積と利用、海外研究機関との協力
- チェルノブイリ原発閉鎖に係る国際プロジェクトの作業調整・実施

### チェルノブイリ原発事故後～閉鎖までの動き

1995 年 12 月 25 日	ウクライナ政府と G7 諸国間で MOU 締結。チェルノブイリ原発閉鎖合意
1996 年 11 月 30 日	1 号機閉鎖決定
1999 年 3 月 15 日	2 号機閉鎖決定
1998 年 12 月 11 日	「チェルノブイリ発電所の運転とデコミッショニング、 4 号機の環境的に安全なシステムへの移行に関する基本原則」法成立
2000 年 3 月 29 日	ウクライナ閣議決定 598 号にて 3 号機閉鎖決定
2000 年 6 月 5 日	米国・クリントン大統領とウクライナ・クチャマ大統領、3 号機閉鎖を 2000 年 12 月 15 日で合意
2000 年 4 月	ウクライナ大統領令によりチェルノブイリ問題委員会の設置
2000 年 11 月末	チェルノブイリ原発従業員とスラブチチ住民の社会保護に関する方策決定
2000 年 12 月 5 日	原発閉鎖に伴う国会ヒアリング
2000 年 12 月 14 日	ウクライナ・クチャマ大統領がチェルノブイリ原発を訪問、職員と対面
2000 年 12 月 15 日	1. 17 p.m. チェルノブイリ原発 3 号機とウクライナ宮殿間でテレビ中継。 クチャマ大統領命令により 3 号機が閉鎖



写真：3号機閉鎖

左) Emergency Protection key (EP)-を回す運転員

右) 原子炉建屋オペレーティングフロアで献花する作業員

発電所の閉鎖時の作業員は9051人。現在は2分の1に削減。閉鎖に伴う社会・雇用影響軽減策により、チェルノブイリ原発をベースに5つの新企業と2つの国際研究所を設立、非雇用による社会不安増大を防止。

ECのTACISプログラムでは、チェルノブイリ原発のデコミッションングと代替施設建設の費用（閉鎖炉のメンテナンス費用を除く）が15年間で5億4100万ECU、社会的保護費用は、6年間で5億5百万ドルと試算。

## チェルノブイリ原発の現状

実施作業（～2015年）

- ・ 原子炉の安全状態の保持
  - ・ 炉からの燃料取出
  - ・ システム・コンポーネントの最終停止
  - ・ 放射性廃棄物の除去
  - ・ 炉外設備の解体
  - ・ 包括的エンジニアリング、放射線調査
  - ・ デコミッションングに係るインフラ設置
- 
- 2010年3月初め、新燃料（68の集合体他）をロシアに移送。
  - 使用済燃料の新設備（ISF-2）建設遅延により、既存設備（ISF-1）への移送を開始（2006年）。
  - 3号機使用済燃料のISF-1への移送完了（2010年）。
  - 1、2号機使用済燃料（除、損傷燃料）をISF-1に移送。損傷燃料は特殊キャニスターに入れられ、冷却プールに保管。2015-2016年にかけて損傷燃料の問題は解決、冷却プールは空に。

原子炉デコミッションングの安全確保のために実施する主要な国際プロジェクト

- [サイト内施設への熱供給プラント建設](#)（2000年完了、米国・ウクライナ資金）
- [液体廃棄物処理プラントの建設](#)（タンクベース）（2017年12月完成予定、EBRD・ウクライナ資金）
- [中間貯蔵施設-2（ISF-2）の建設](#)（タンクベース）（2017年12月完成予定、EBRD資金）
- [固体廃棄物管理施設の建設](#)（2009年完了、EC・ウクライナ資金）

ウクライナ全土においてデコミッショニングの経験不足にも係らず、チェルノブイリ原発では多くの作業が実施。2015年4月以降、炉外設備とシステムの解体、放射性物質の環境拡散防止バリアの強化、解体対象でない設備の安全維持作業を実施。

#### 今後の作業予定

- ・ 原子炉ならびに最も放射能汚染のある設備の保全（～2028年頃迄）
- ・ 放射能減衰まで炉設備を安全に隔離（～2045年頃迄）
- ・ 炉設備解体、サイト除染（～2065年頃迄）

サイトと立入禁止区域を一体化した“産業発展サイト”として活用。

ウクライナ全土の原発の使用済燃料や放射性廃棄物管理施設を立入禁止区域に設置、汚染材のリサイクルによる放射性廃棄物貯蔵コンテナ製造（汚染物質の減容）、デコミッショニングや廃棄物管理を専門とする人材の活用と育成センターを設置。

### シェルター（石棺）の現状

シェルター内部における調査済みのエリアは全体の60%にも満たない。未調査のエリアは高線量、事故爆発時の内部構造崩壊、溶岩状燃料含有物質、シェルター（石棺）建設時のコンクリート投入によりアクセスは不可能。およそ185トンの放射性物質が内部にあり、放射能の環境拡散を防止する効果的なバリアはない。

シェルター内には事故時に炉内にあった燃料の約95%が残留と推定、総放射能は1600万キュリー、燃料含有物質のガンマ線照射線量率は毎時3300レントゲン（平均）に達する。燃料含有物質の崩壊により発生する放射性核種を含むダストは、控え目な予測でも現在1.5トン総量とされ、エンジニアリング構造物を部分的に共有している3号機のベンチレーションシステムによりシェルター外に放出される危険性がある。また、シェルター内への水の流入や老朽化が年々大きな脅威となっている。放射性物質の環境への拡散を防止するため、発電



事故炉（4号機）を覆う石棺 1986年11月30日完成

所職員が除染や粉塵抑制作業、放射性廃棄物の処理・一時貯蔵、放射線モニタリング（シェルター構造の割れ目等を通じてエアロゾル漏れが発生）や燃料堆積場所への中性子吸収剤の投入、シェルター屋根下部における粉塵抑制・固着、放射性物質のローカライズと線源のイオン化、水素コントロール等を実施している。

### 「シェルターの環境的に安全なシステムへの移行戦略」

Strategy of Shelter Object Transformation into ecologically safe system

チェルノブイリ問題に関するウクライナ省庁間委員会承認（2001年3月12日）

損傷燃料取出作業のリスク削減が目的。シェルター（石棺）の環境的に安全な移行のための戦略を3フェーズで実施。フェーズ1、2の作業は「シェルター実施計画」（EBRDプロジェクト Shelter Implementation Plan（SIP））における検討内容。

**フェーズ1**（1998-1999、2004-2008）：既存施設の安定化、構造とシステムの耐久性の向上、シェルター安全インディケータのモニタリング

**フェーズ2**（2008-2015）：付加的防護バリア（新たな閉じ込め施設）の設置と作業員、住民、環境への安全確保、遠隔操作メカニズムの確立、燃料含有物質の取出し技術の開発と認可、放射性廃棄物管理インフラの設置。

**フェーズ3**：燃料含有物質と長寿命放射性廃棄物のシェルターからの除去と制御可能な防護バリアや地層処分施設での貯蔵管理。すべての燃料含有物質は放射能レベルによる分類、減量化を経て、高レベル放射性廃棄物として貯蔵・管理。

## New Safe Confinement (NSC) 建設プロジェクト (事故炉の4号機石棺を覆う新シェルター。史上最大の可動式構造物)

発注者：チェルノブイリ原発

エンジニア：Bechtel（米国）、Bettelle Memorial（米国）、チェルノブイリ原発

請負者（設計、調達、建設）：JV Novarka（フランス）

（VINCI Construction Grands Projects-50%, Bouygues Travaux Publics-50%）

資金：チェルノブイリ・シェルター基金

工事監督者：EBRD（欧州復興開発銀行）

契約額：14億2400万ユーロ

契約調印日：2007年4月10日

契約完了日：2017年11月

主要協力会社：CIMOLAI（伊）、PaR（米国）、OKYANUS（トルコ）

アーチ径間：257m

全長：162m

全高：108m

設計寿命：100年（放射線による金属劣化を考慮）

温度設計：-30℃～+50℃

地震帯：2（リヒター・スケール）

基盤と構造プラットフォーム：強化コンクリート 81,000m<sup>3</sup>

鋼鉄パイル（長さ25m、直径1m）：400個

コンクリートパイル（恒久的基礎 長さ19m、直径1m）：400個

アーチ建設

-主要要素（直径>800mmパイプ）：5,700個

-補助具（接合）：4,000個

-固定材：650,000個

-鋼鉄建設物：24,860トン

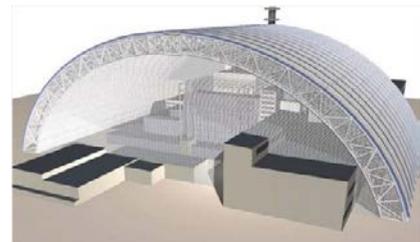
-暫定建設物：5,400トン

被覆材：

-外部（多層）86,000m<sup>2</sup>

-内部 78,000m<sup>2</sup>

作業人数（平均）：600人構成、2シフト



NSC サイト映像 <http://chnpp.gov.ua/en/construction-online>

NSCは2016年11月14日までに完成し、同日から4号機上の石棺にスライドさせる作業開始。  
総重量36,000トン。建設現場から設置位置までの327メートルを224本の油圧ジャッキでスライド。  
スライド作業映像：

<http://www.ebrd.com/news/video/timelapse-video-of-chernobyl-arch-sliding.html>