

ウクライナの原子力

2022年9月

(一社) 日本原子力産業協会
情報・コミュニケーション部

■ ウクライナ概観	P2
■ ウクライナのエネルギー生産量と 電源別発電量の推移	P3
■ ウクライナの発電設備と電力構成	P4
■ ウクライナの原子力発電所	P5
■ ウクライナの原子力発電量と 原子力シェア（2021年）	P6
■ ウクライナの原子力政策の現状	P7
■ ウクライナの原子力開発①	P8
■ ウクライナの原子力開発②	P9
■ 使用済燃料集中中間貯蔵施設 （CSFSF）	P10
■ ザポリージャ原子力発電所の 乾式使用済燃料貯蔵施設	P11
■ ザポリージャ原子力発電所の 施設立地図	P12
■ ザポリージャ原子力発電所と同タイプ （VVER-1000/V-320）のプラント断面図	P13

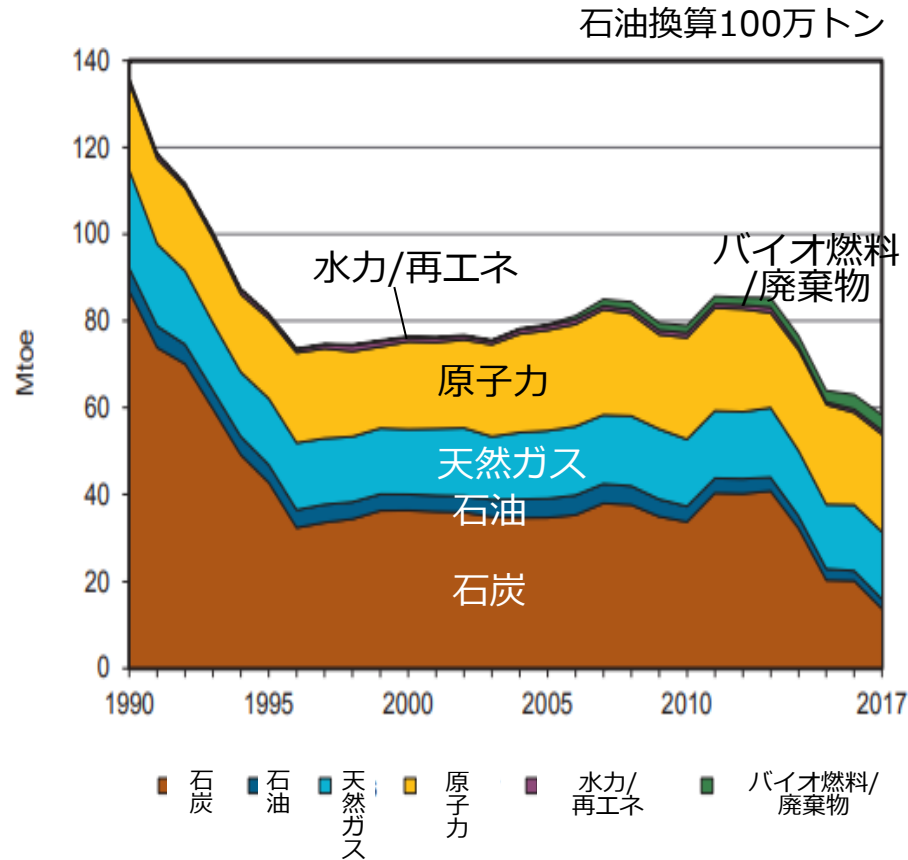
■ 南ウクライナ原子力発電所の施設立地図	P14
■ 南ウクライナ原子力発電所と水力複合施設	P15
■ 最近の米国との主な原子力協力	P16
■ 欧州送電系統運用者ネットワーク （ENTSO-E）への接続	P17
■ チョルノービリ原子力発電所の現状	P18
■ チョルノービリ立入禁止区域内の施設	P19
■ チョルノービリ立入禁止区域内の施設立地図	P20
■ ウクライナのウラン鉱山	P21
■ ウクライナのウラン資源量と生産量	P22
■ ウクライナの主な原子力関係条約の 加盟状況	P23
■ ウクライナの主な原子力関連組織	P24

- ウクライナの炭化水素資源は、東はドニエプル・ドネツク地域、西はカルパチア地域、南は黒海・アゾフ海地域に分布。天然ガスの90%はドニエプル・ドネツク地域で生産
- ウクライナは、石炭、天然ガス、石油、原子力、再生可能エネルギーなどを生産。しかし、エネルギー需要は国内供給を上回っており、約35%を輸入で賄う（エネルギー自給率約65%）
- 天然ガスはウクライナの一次エネルギー消費の約3分の1を占め、次いで石炭が30%、原子力が21%と続く。石油などの液体燃料と再生可能エネルギーが、一次エネルギー消費の残り18%を占める
- COVID-19パンデミック以前から、ウクライナ経済は過剰な政府債務などの課題に直面。パンデミックによりエネルギー需要と生産の双方が減少し、同国の債務返済能力に大きな影響を与えている
- エネルギー省によると、クリミア半島の管轄権喪失により、黒海に埋蔵する石油・天然ガスの8割と港湾インフラの相当部分を失う
- ウクライナ経済は、欧州で最もエネルギー集約型経済。産業部門でのエネルギー効率は向上しているものの、エネルギーインフラの近代化への投資が少なく、エネルギー供給が不安定かつエネルギー消費効率も悪いため、経済全体の成長は鈍化

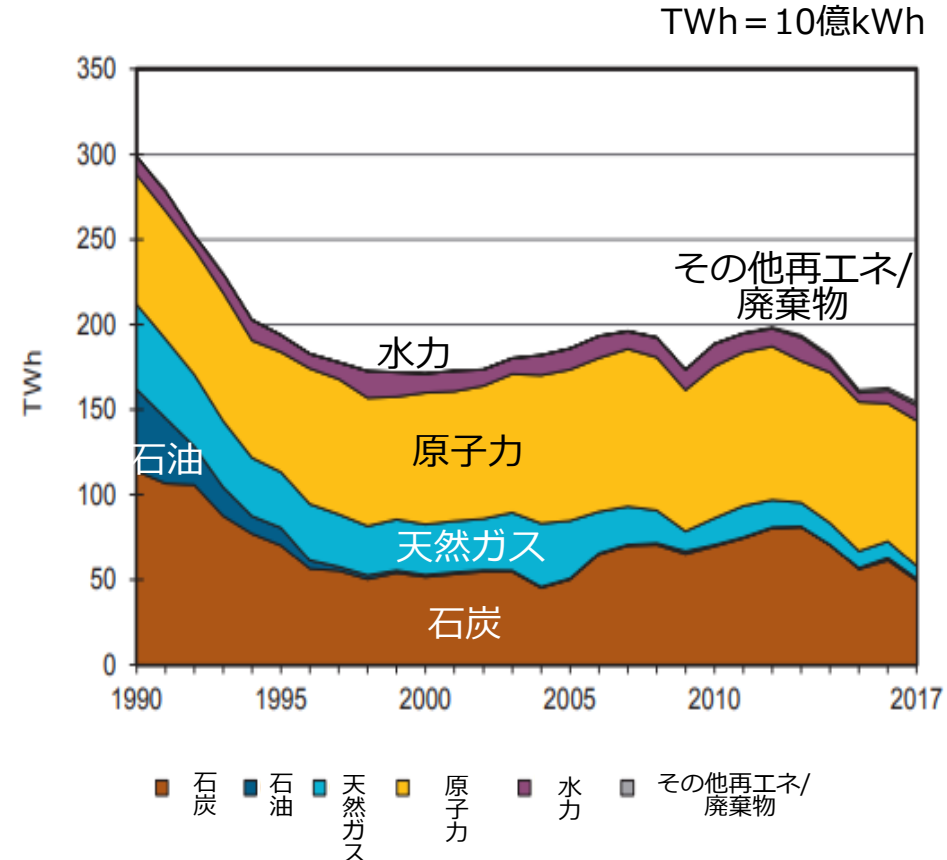
項目	
面積	60万3,700平方キロメートル（日本の約1.6倍）
人口	4,159万人（クリミアを除く）（2021年：ウクライナ国家統計局）
首都	キーウ
主要産業	卸売・小売業、自動車・二輪車修理業（14.0%）、製造業（10.1%）、農業、林業、漁業（9.3%）、行政・防衛・社会保障（7.2%）、不動産業（6.4%）、運輸・倉庫業（6.3%）、情報・通信（5.0%）、鉱業・採石業（4.5%）、教育（4.3%）、専門・科学・技術的活動（3.3%）（2020年：ウクライナ国家統計局）
国民総生産	2,001億ドル（世界第53位）（2021年：世銀）
一人当たりGDP	4,836ドル（世界第102位）（2021年：世銀）
GDP成長率	3.8%（2021年予測値：世銀）
一次エネルギー供給量	89.36Mtoe（石油換算100万トン）（2019年）
発電電力量	約1,420億kWh（2020年）
一人当たりの電力消費量	2,800kWh（2020年）※日本は7,900kWh

出典：米EIAウェブサイト、外務省ウクライナ基礎データ、IEA “Ukraine-Countries & Regions” など

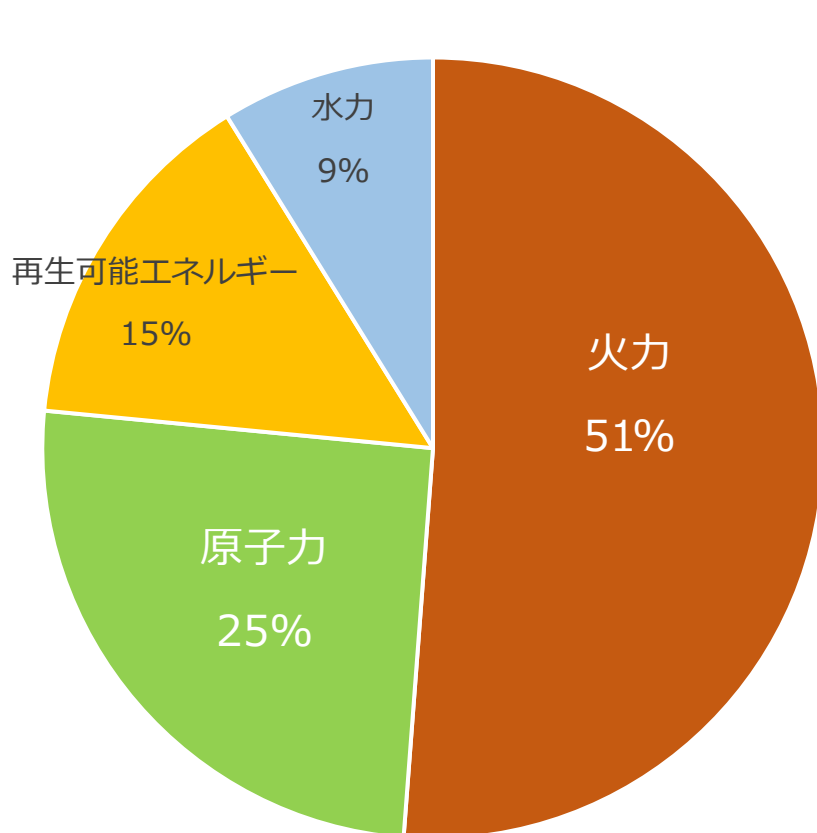
【エネルギー生産量】



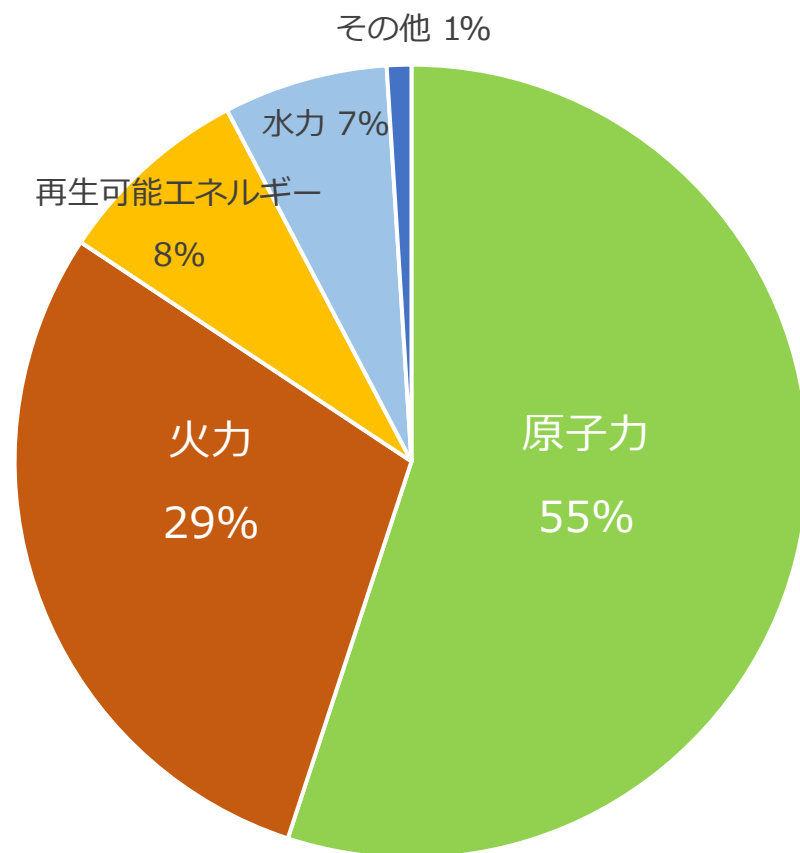
【電源別発電量】



■ ウクライナの電力の半分以上を原子力が供給
(国営原子力発電企業Energoatomが運営)



発電設備容量: 約5,600万kW (2021年)



発電電力量: 約1,570億kWh (2021年)
2021年の原子力の平均設備利用率は71.13%

出典: EnergoVsesvit

ウクライナの原子力発電所（計15基・1,381.8万kW） —設備容量の規模は世界第8位—



ザポリージャ原子力発電所（6基・600万kW…欧州最大級）



南ウクライナ原子力発電所（3基・300万kW）



リウネ原子力発電所（4基・281.8万kW）



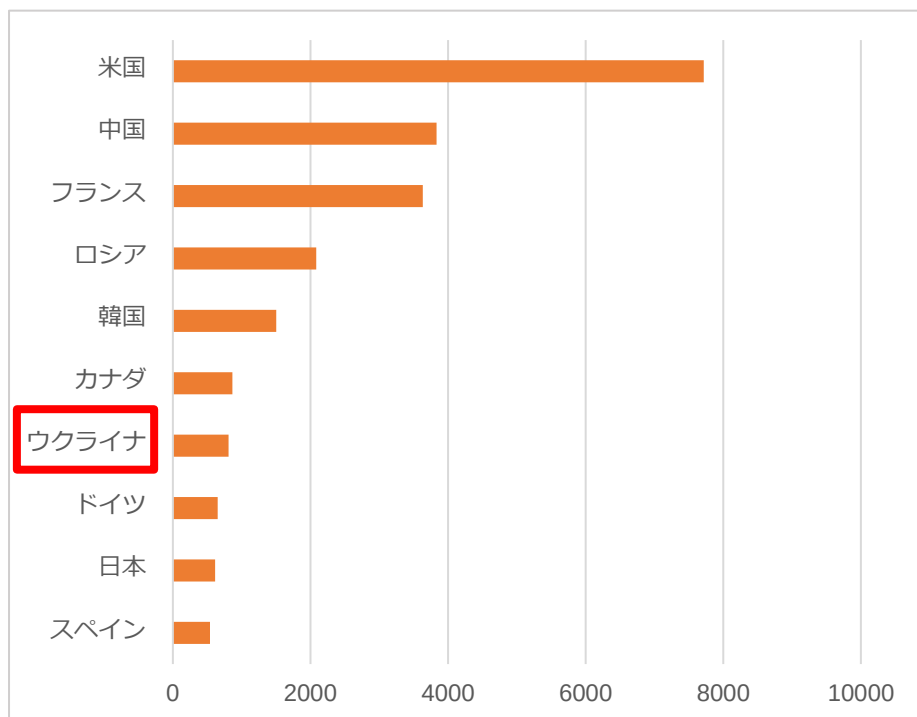
フメルニツキー原子力発電所（2基・200万kW）

写真：ザポリージャの写真はエネルゴアトム、その他はJAIF所蔵

■ ウクライナの原子力発電量は世界第7位。原子力シェアは55%で、フランスに次いで大きい

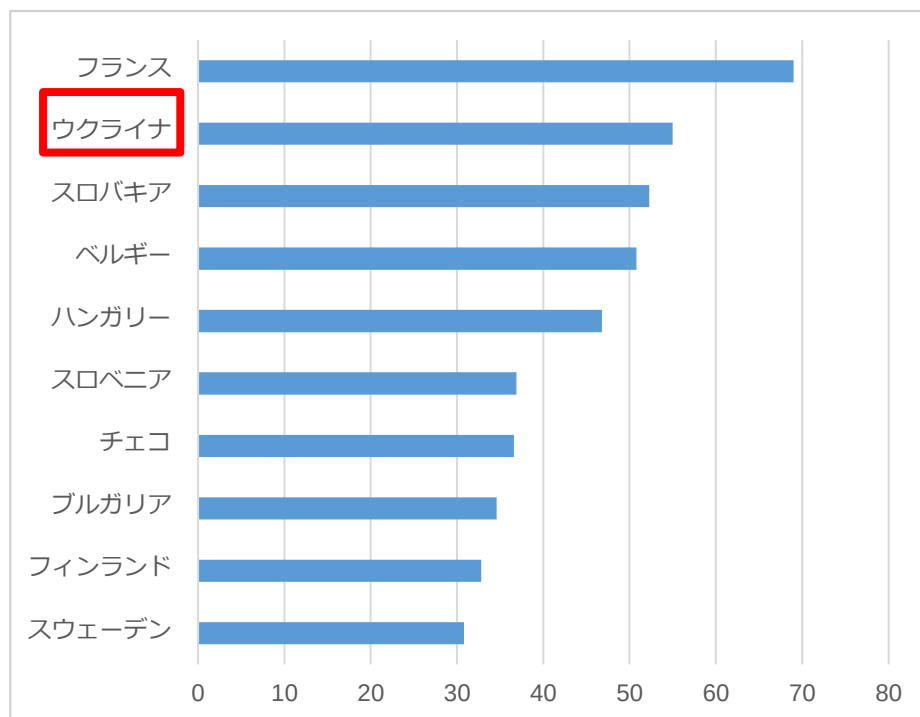
【原子力発電量】

単位：億kWh



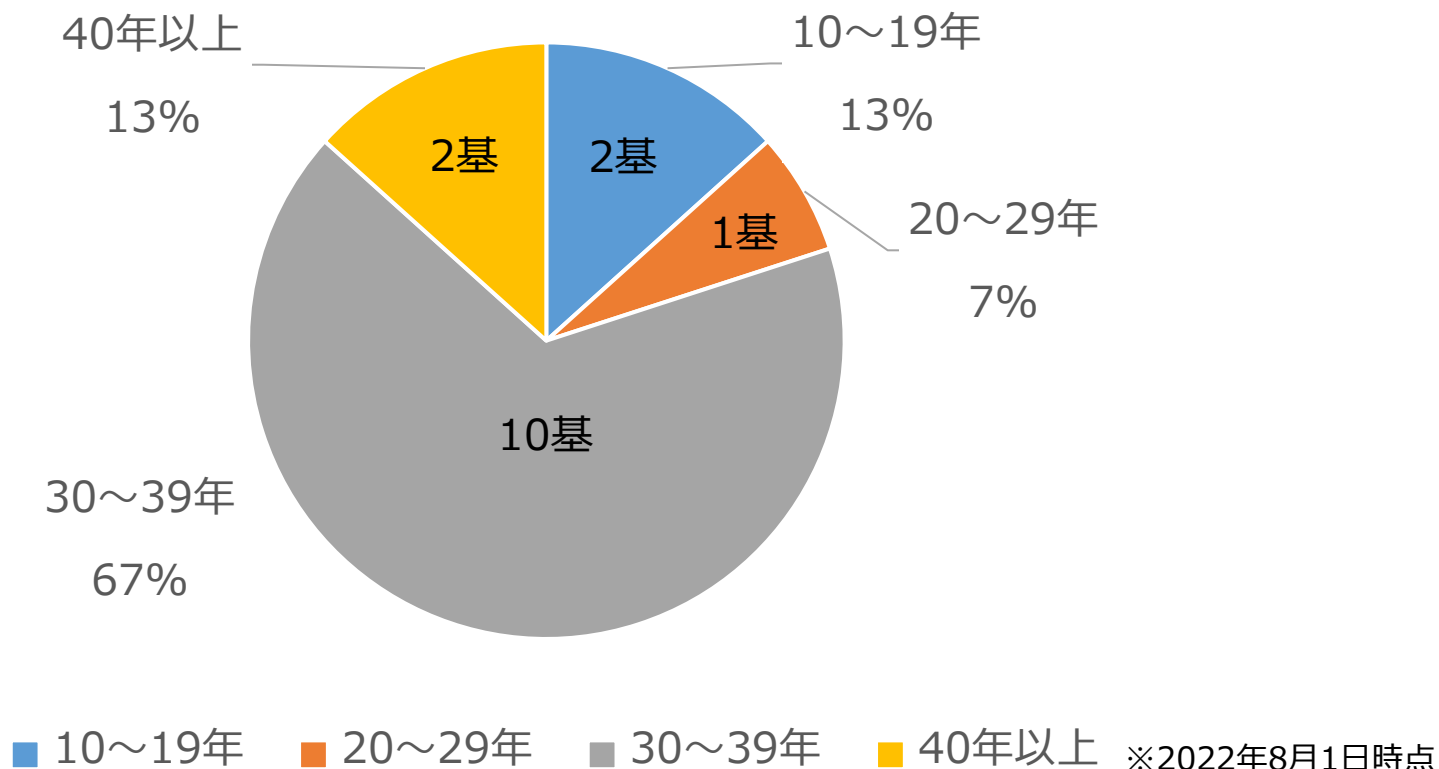
【原子力シェア】

単位：%



ウクライナの原子力政策の現状

- ウクライナの運転中15基のうち、12基が30年を超えて運転。ウクライナのエネルギー政策は原子力をエネルギー自給と脱炭素化の原動力として重視。今後は既存炉の運転期間延長と新規建設に注力。SMR（小型モジュール炉）にも関心
- 2040年目標は原子力発電設備容量2,400万kW（現在1,381.8万kW）
- 運転中15基は全てロシア製PWR（VVER）。ロシア型VVER炉を運転している国はその他、アルメニア、ブルガリア、チェコ、ハンガリー、イラン、スロバキア、中国、インド、そしてロシア



現状	発電所名	営業運転
運転中	フメルニツキー1	1988.08.13
	フメルニツキー2	2005.09.07
	リウネ1	1981.09.21
	リウネ2	1982.07.30
	リウネ3	1987.05.16
	リウネ4	2006.01.21
	南ウクライナ1	1982.12.22
	南ウクライナ2	1985.01.06
	南ウクライナ3	1989.09.20
	ザポリージャ1	1985.12.25
	ザポリージャ2	1986.02.15
	ザポリージャ3	1987.03.05
	ザポリージャ4	1988.04.14
	ザポリージャ5	1989.10.27
	ザポリージャ6	1996.09.16
建設中	フメルニツキー3	※1990年から建設中断。 工事進捗率75%
	フメルニツキー4	※1990年から建設中断。 工事進捗率28%

- ソ連時代の1970年から原子力開発開始、チョルノービリ1号機が1978年運転開始
- 1986年4月26日、チョルノービリ4号機事故
- 1991年8月24日、ウクライナ独立
- G7,EU等からのRBMK炉（チョルノービリ）閉鎖
圧力受け、財政支援条件に閉鎖
- しかし、**原子力開発は継続。事故後も9基・計900万kWが運転開始（左表黄色部分の発電所が事故後に運転開始）**
- 2017年8月、「2035年までのエネルギー戦略」原子力シェア50%維持目標**
- ウクライナは、原子力サービスや核燃料の多くをこれまでロシアから調達。近年、米WH社から燃料を購入するなど、**調達先の多様化**を図る

チョルノービリ原子力発電所 (RBMK…軽水冷却黒鉛減速炉)

	営業運転	閉鎖
1号機	1978.05.27	1996.11.30 (事故後も運転継続)
2号機	1979.05.28	1991.10.11 (事故後も運転継続)
3号機	1982.06.08	2000.12.15 (事故後も運転継続)
4号機	1984.03.26	1986.04.26 (事故発生)

ウクライナ危機（2014年初頭）→ロシアへの依存脱却に向けた取組が加速

2014年

- 3月18日: **ロシア、クリミアをロシアに編入**
- 4月11日: **米WH社、エネルゴアトムへの燃料供給契約**（2008年締結）を2020年まで5年間延長すると発表。その後、2025年まで契約延長（2018年1月）
→2022年7月現在、ウクライナの原子炉15基のうち7基（南ウクライナ2, 3とザポリージャ1, 3, 4, 5, リウネ3）がWH社の燃料を使用
- 8月26日: **使用済燃料集中中間貯蔵施設（CSFSF）の建設開始**@ Cholnobyri 立入禁止区域。**米ホルテック・インターナショナル社**が受注。ザポリージャ以外の全発電所の使用済燃料貯蔵 →2021年8月操業開始。操業により、ロシアへの年間支払い約2億ドルを節約
- **2015年9月: ウクライナ議会、フメルニツキー3, 4号機完成に関するロシアとの政府間協定を無効にする法案を可決**
- **2021年1月: ロシアへの使用済燃料供給契約を終了**



スウェーデンにあるWH社バステロース燃料工場
BWRとPWR向け燃料だけでなく、VVER燃料も製造

写真: WH社スウェーデン

- ザポリージャ以外の全原子力発電所（リウネ、南ウクライナ、フメルニツキー）の使用済燃料は、チヨルノービリ立入禁止区域内に立地する使用済燃料集中中間貯蔵施設（CSFSF）で保管

<使用済燃料集中中間貯蔵施設（乾式）>

- 貯蔵容量：16,529体（使用済燃料集合体、VVER-1000：12,010体、VVER-440：4,519体）
HI-STORMキャニスター（458基）
- 2021年8月～操業開始、2022年4月本格操業の認可取得
- 米ホルテック・インターナショナル社が技術協力
- 操業期間：100年

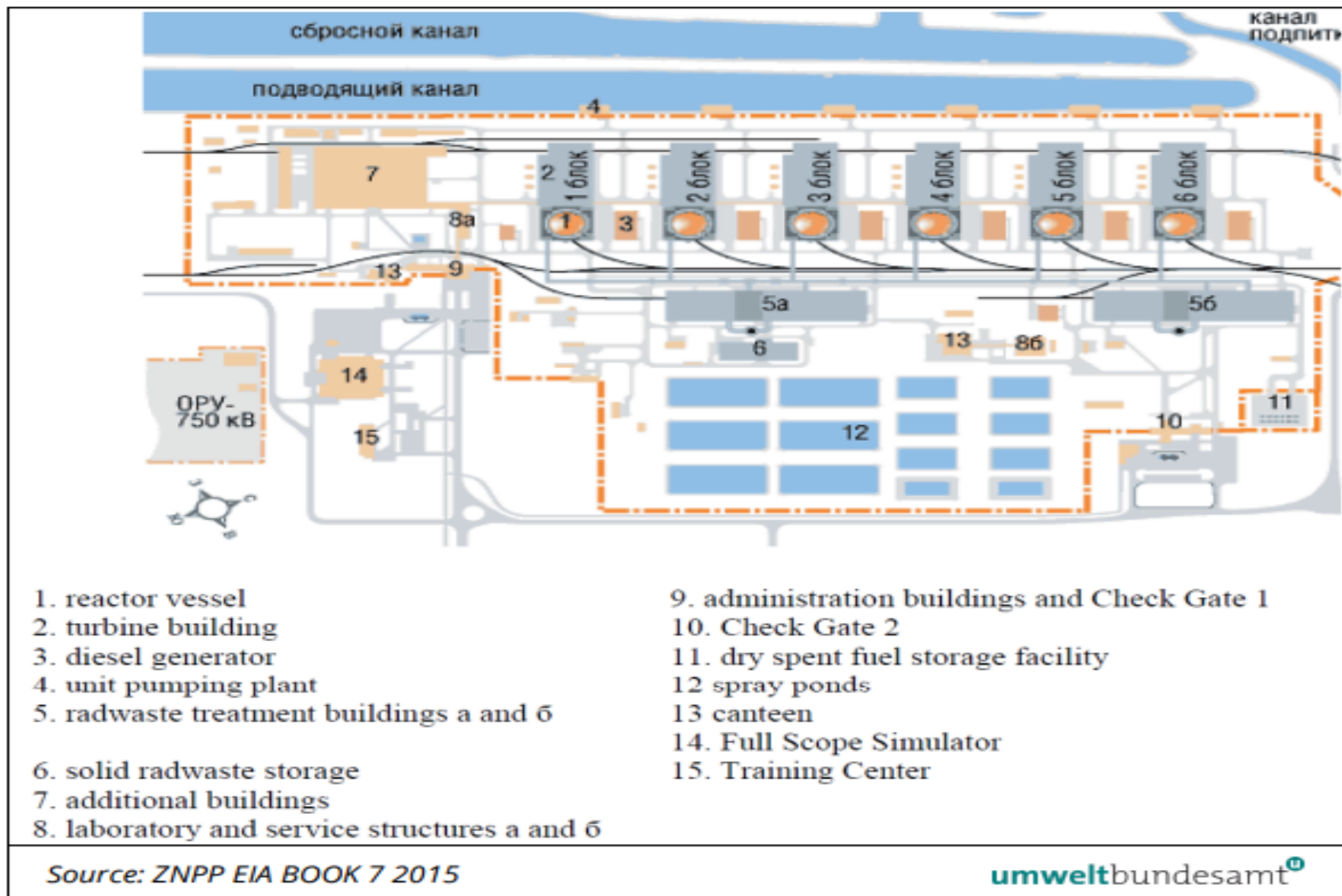


- ウクライナは原則、オープンサイクル政策を採用。使用済燃料は処分前に少なくとも50～100年間保管の方針（暫くは、“Wait & See”のスタンス）
- 使用済燃料はこれまでロシアに移送（VVER-1000の燃料はクラスノヤルスク・ジェレズノゴルスクの鉍業化学コンビナートで貯蔵。VVER-440の燃料はチェリャビンスク・マヤク再処理工場で貯蔵、再処理）。再処理後、高レベル放射性廃棄物はガラス固化体で返還。ザポリージャ以外の全原子力発電所の使用済燃料は今後、2021年8月から操業が開始されたチヨルノービリ立入禁止区域内に立地する使用済燃料集中中間貯蔵施設（CSFSF）で保管

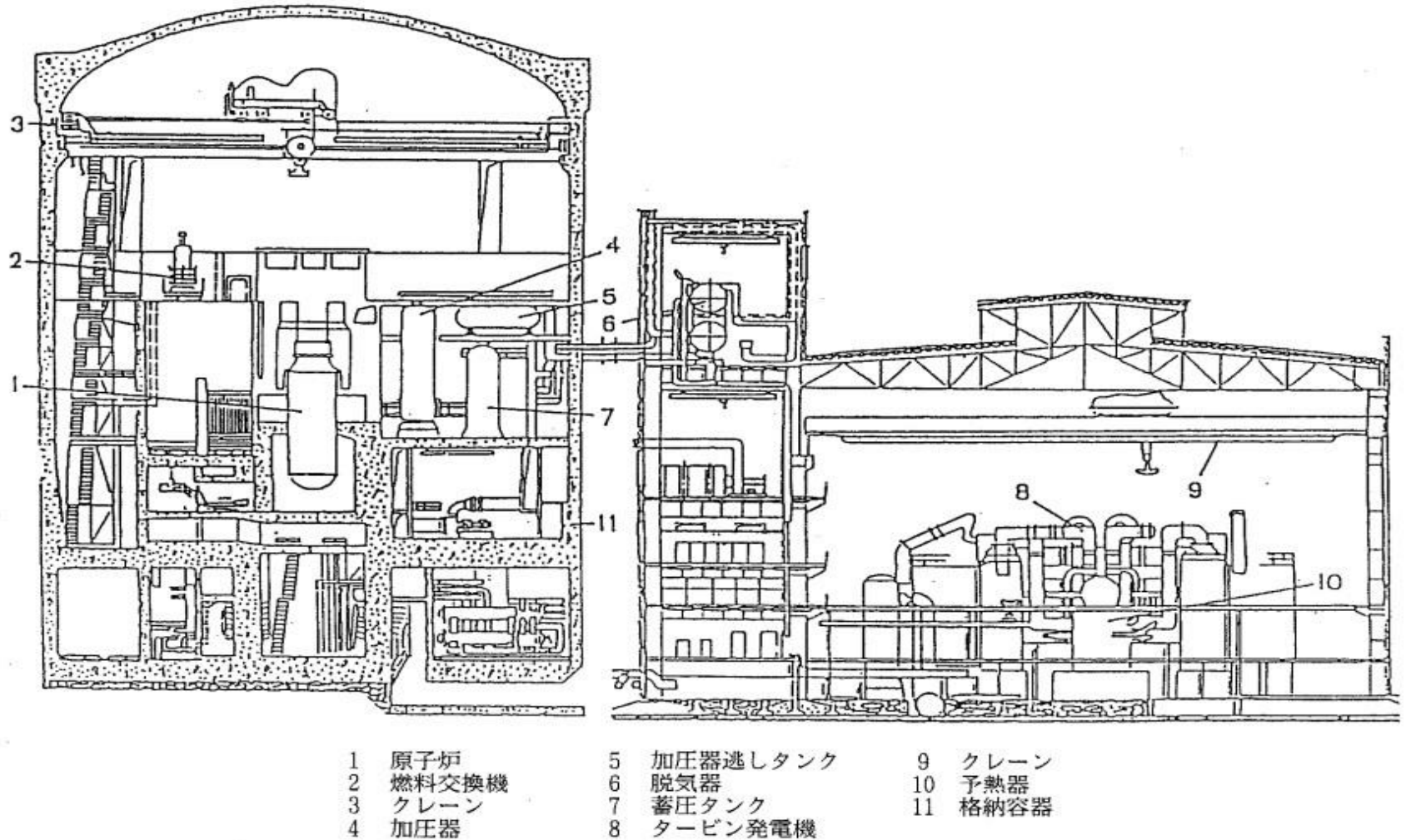
<ザポリージャ原子力発電所の乾式使用済燃料貯蔵施設>

- 貯蔵容量：144トン×380基の換気式貯蔵キャスク（VSC-24）（1基あたり使用済燃料集合体24体収容）
- 2001年7月：パイロット操業認可取得
- 2004年8月～第1期（100基のキャスク）操業開始。2022年8月現在、174基のキャスク収容
- 米デューク・エンジニアリング&サービス社の技術協力による設計
- 操業期間：50年間（最大100年間まで延長）

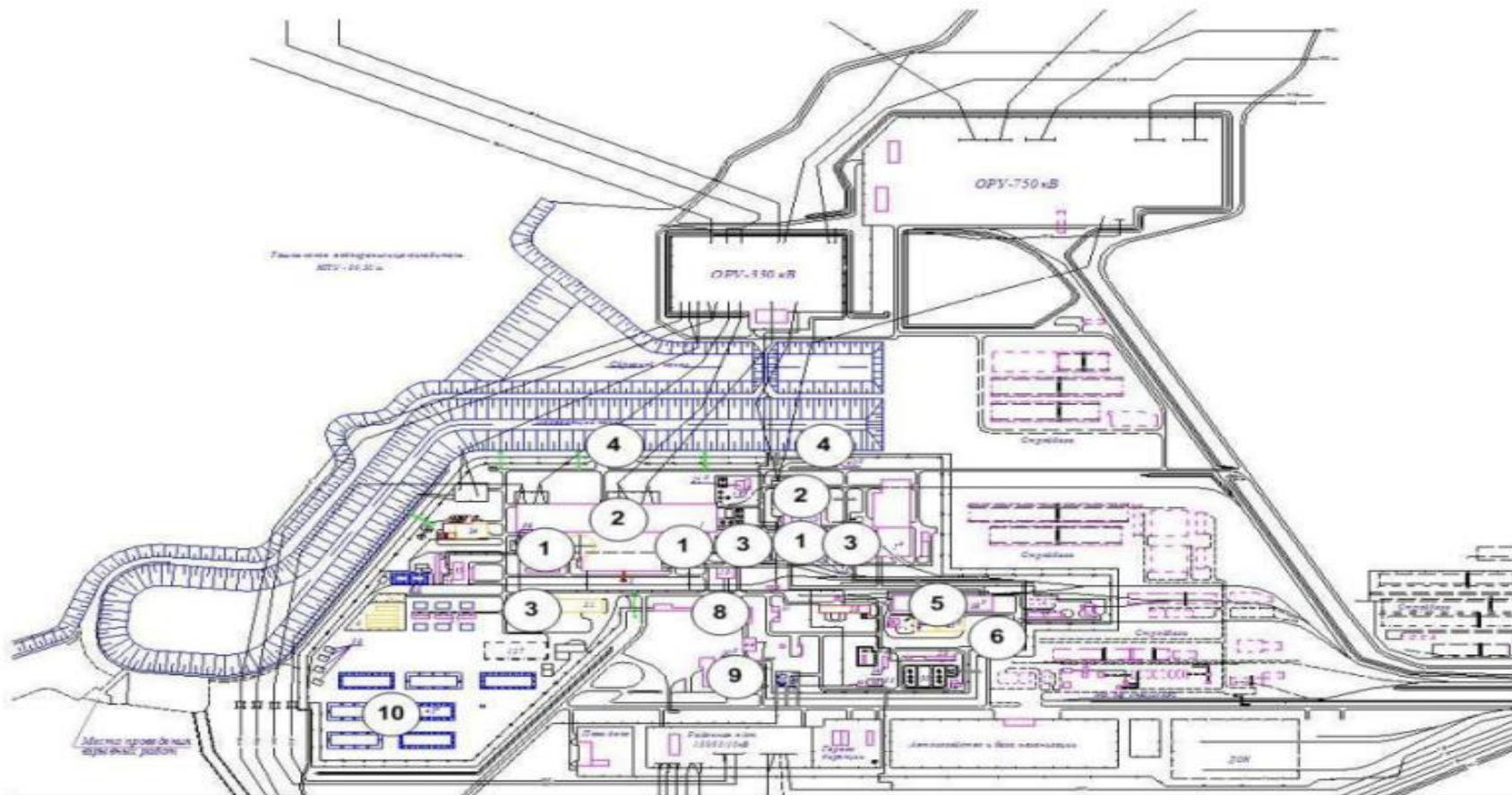




ザポリージャ原子力発電所と同タイプ (VVER-1000/V-320) のプラント断面図



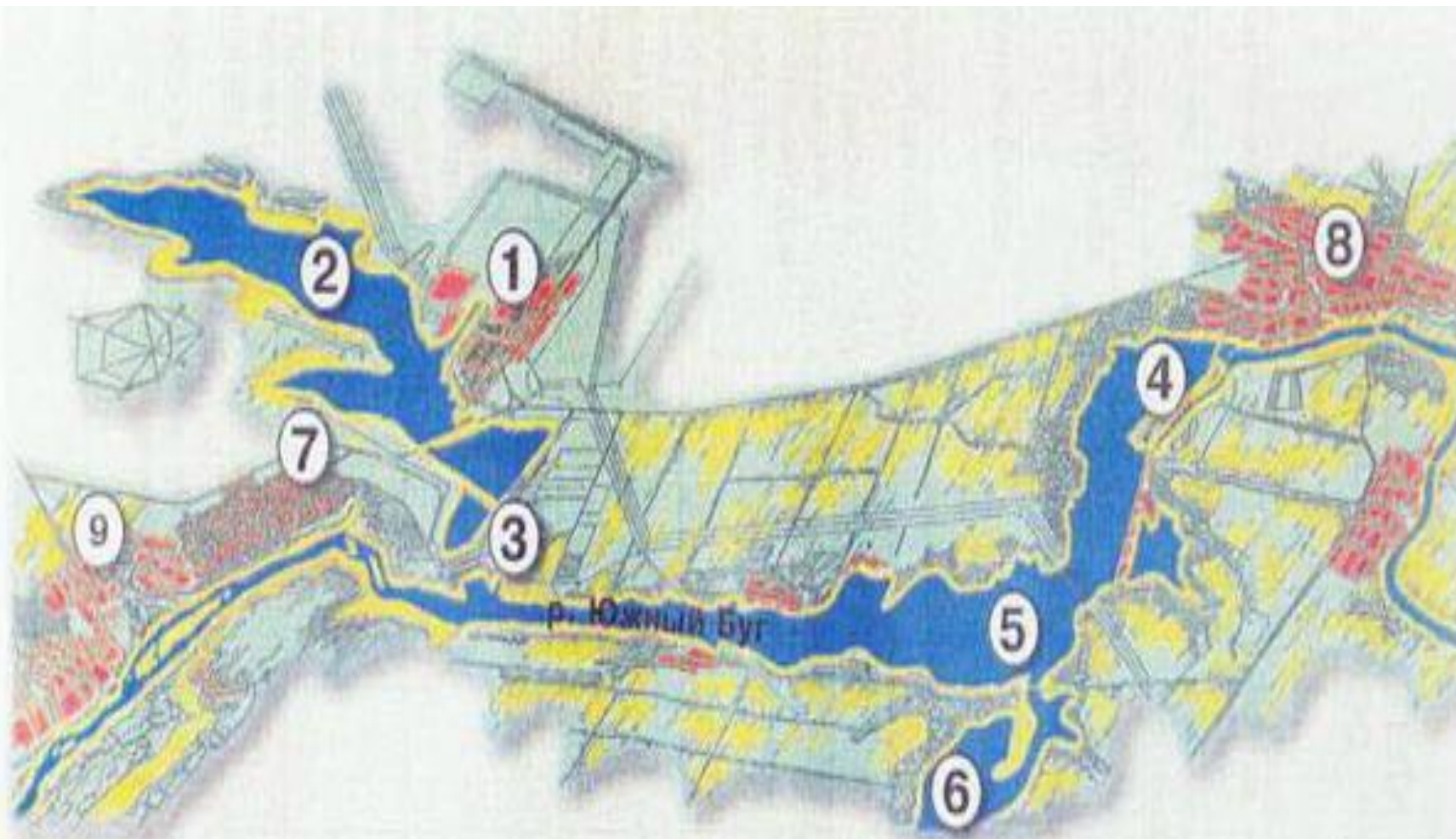
図：(財) 原子力安全研究協会“旧ソ連型炉データブック（資料編）”（平成5年3月）



- 1 – RPV
- 2 – Turbine hall
- 3 - DG
- 4 – unit pump station
- 5 – radwaste treatment building

- 6 – solid radwaste storage facility
- 7 – annexe buildings
- 8 – lab and services buildings
- 9 – office buildings and check point
- 10 – spray cooling pond

図：オーストリア連邦環境庁 “NPP South Ukraine Lifetime Extension EIA” (2021年)



1: 南ウクライナ原子力発電所; 2: Tashlyk cooling pond; 3: Tashlyk PSP;
4: Olexandrivka hydrosystem; 5: Olexandrivka water storage reservoir; 6: Prybuzhzhia water storage reservoir; 7: Yuzhnoukrainsk town; 8: Olexandrivka village; 9: Kostyantynivka village

図 : Safety Justification for DS "South-Ukraine NPP" Power Units Operational Lifetime Extension Over the Designed Period, Non-Technical Summary" (Energoatom, 2015年)

■ウクライナは2000年代半ばから、ロシアへの依存を低減するため、WH社製の燃料を利用するなど、供給先の多様化を追求してきた。ウクライナは近年、核燃料や原子力サービス、原子炉技術の分野において米国と協力関係を深めている

<最近の主な動き>

- 2018年2月28日: ホルテック・インターナショナル社－エネルギーアトム、ホルテック社製SMR-160の許認可・建設で覚書締結
- 2019年6月: ホルテック社、ウクライナでのSMR-160展開@リウネ原子力発電所に向け、コンソーシアム・パートナーシップ（国際企業連合）を正式に結成

<2021年>

- 8月20日: ホルテック社が建設した使用済燃料集中中間貯蔵施設（CSFSF）完成を祝賀。ウクライナ・エネルギー大臣「エネルギーアトムは、使用済燃料の管理における隣国への依存から脱却するという、我が国が直面する最大の課題の1つを見事に克服した」
- 8月31日: WH社－エネルギーアトム、ウクライナでのAP1000複数基建設で協定締結
- 9月9日: エネルギーアトム－ニュースケール・パワー社、ウクライナでのニュースケール社製SMRの建設可能性調査でMOU締結
- 11月22日: WH社－エネルギーアトム、フメルニツキー・サイトで最初のAP1000建設契約締結
- 12月15日: 米貿易開発庁、ウクライナ科学技術センターがニュースケール社製SMR導入に向けて実施予定の分析調査に技術支援金提供

<2022年>

- 6月3日 **米WH社、エネルギーアトムと追加契約。
全基分の燃料調達と合計9基のAP1000建設で合意**



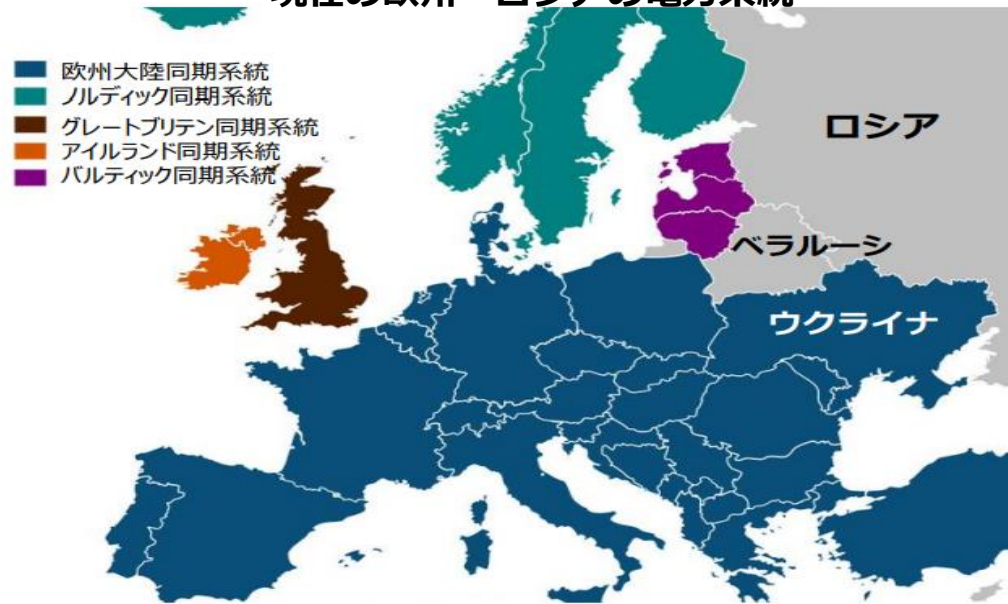
写真: WH社

- ウクライナとモルドバの国家電力システムは2022年3月16日、欧州送電系統運用者ネットワーク（ENTSO-E）*との電力系統との接続、同期化を開始（当初2023年初めの予定が1年早まる）* ENTSO-Eは、35か国・39のメンバーからなる欧州全域の系統運用者の団体
 - － 2017年6月：ウクレネルゴ（国営送電系統運用会社）、ENTSO-Eへのウクライナ加入に関する協定に署名
 - － 2022年2月24日：ENTSO-Eとの統合準備の一環として、ソ連時代からロシアとベラルーシの電力システムに接続していたウクライナの電力システムが離脱、動作試験実施。離脱の数時間後ロシアによるウクライナ侵攻開始、ウクライナの送電網を含むエネルギーインフラへの攻撃あり
 - － 2月27日：ウクライナ、ENTSO-Eとの緊急接続を要請。翌日にはモルドバも接続要請
 - － 3月16日：ENTSO-E、ウクライナとモルドバの電力系統との接続・同期化を開始
 - － 4月26日：ENTSO-E、ウクレネルゴをオブザーバーメンバーとして承認
 - － 6月30日：ウクライナから欧州への電力輸出を開始～
（ルーマニア、スロバキア、ポーランド、モルドバに供給）

ウクライナの電力輸出能力（これまで）



現在の欧州・ロシアの電力系統



- 事故を起こしたチヨルノービリ4号機以外の1～3号機も全て閉鎖済、通常の廃止措置を実施中。1～3号機の使用済燃料は全て取り出し完了
- 2012年4月、4号機の新シェルター(New Safe Confinement, 世界最大の可動式鋼鉄製構造物、100年間放射性物質を封じ込め)の起工式、2019年7月、新シェルターが稼働
- 最終的にはコンクリート製の石棺を解体し、炉内に残る200トンの燃料を除去する計画



写真: EBRD

- チヨルノービリ原子力発電所から半径30km圏内が今も立入禁止区域
- 閉鎖されたチヨルノービリ1～3号機の使用済燃料は現在、**湿式貯蔵施設（ISF-1）**で保管中。今後、発電所から数km離れた新たな**乾式貯蔵施設（ISF-2）**にて保管予定。ISF-2は2021年4月、規制当局より操業認可取得、6月からISF-1より使用済燃料の輸送開始。2022年1月現在、1,698体の使用済燃料がISF-2で保管。乾式貯蔵施設であるISF-2建設には、欧米各国やロシア、日本も資金援助。建設は米ホルテック社率いるコンソーシアムが担当
- その他、ザポリージャ以外の全原子力発電所の使用済燃料貯蔵を行う**使用済燃料集中中間貯蔵施設（CSFSF）**が立地
- チヨルノービリから発生するその他の廃棄物は、**固体放射性廃棄物管理産業コンプレックス（ISCRM）**他にて受け入れ、処理、処分



図: ANS



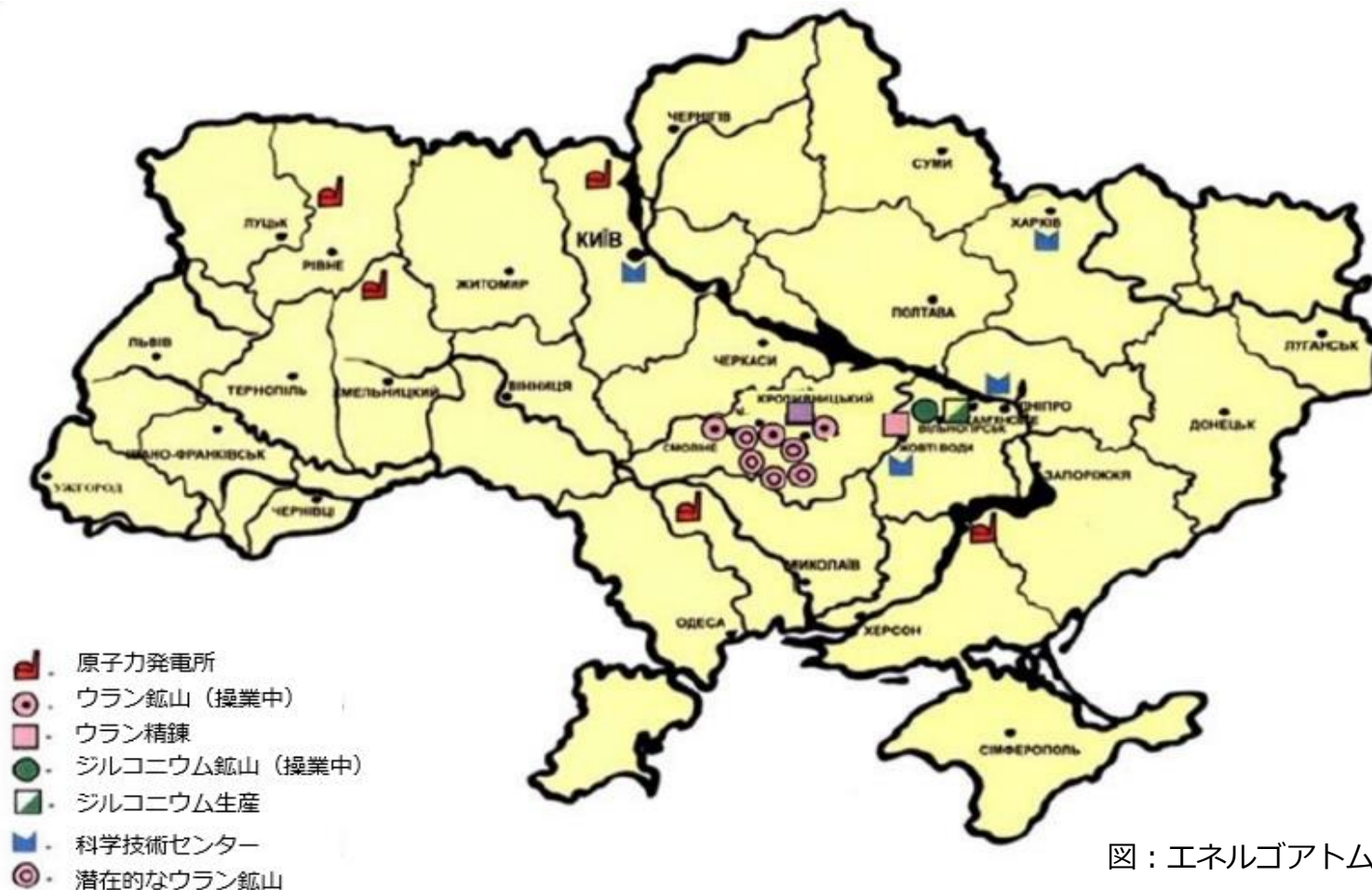
ISF-2

写真: 国家専門企業チヨルノービリ原子力発電所



図: 国家立入禁止区域管理庁 "Chornobyl Exclusion Zone and Radioactive Waste Management in Ukraine"

- ウクライナのウラン生産は現在、同国中央部で3つの鉱山（スモリンスカヤ、イングルスカヤ、ノボコンスタンチノフスカヤ）で操業中（国営企業VostGOKが運営）
- 政府は2021年12月、ウラン生産の国内生産量を2022年の目標995tU から2026年には1,265tUに増産する計画を承認。ウランの自給自足をめざす



図：エネルギーアトム

■ ウクライナのウラン資源量と生産量は世界10位以内に入る

ウラン資源量

2019年1月1日現在、＜US\$260/kgU

ウラン生産量（順位は2019年を基準）

順位	国名	既知資源（tU）（回収可能）		
		確認資源	推定資源	合計
1	オーストラリア	1,284,800	764,600	2,049,400
2	カザフスタン	464,700	504,400	969,100
3	カナダ	652,200	220,800	873,000
4	ロシア	256,600	405,300	661,900
5	ナミビア	320,700	183,500	504,200
6	南アフリカ	258,000	189,700	447,700
7	ニジェール	315,500	123,900	439,400
8	ブラジル	155,900	120,900	276,800
9	中国	122,600	147,100	269,700
10	ウクライナ	122,100	64,800	186,900
	世界合計	4,723,700	3,346,400	8,070,400

順位	国名	ウラン生産量（tU）	
		2018年	2019年
1	カザフスタン	21,705	22,808
2	カナダ	6,996	6,944
3	オーストラリア	6,526	6,613
4	ナミビア	5,520	5,103
5	ウズベキスタン	3,450	3,500
6	ニジェール	2,878	3,053
7	ロシア	2,904	2,900
8	中国	1,620	1,600
9	ウクライナ	790	750
10	インド	400	400
	世界合計	53,516	54,224

- ・既知資源: 発見済みの資源。確認資源と推定資源の合計
- ・確認資源: 鉱床の規模・品位・形状が明らかなもの
- ・推定資源: 鉱床の規模・特性に関するデータが不十分なもの

出典：OECD/NEA, IAEA "Uranium 2020: Resources, Production and Demand"(2020年12月)

条約・協定名	条約発効年月日	加盟/締結状況	加盟発効/締結年月日
核兵器不拡散条約（NPT）	1970年3月5日	○	1994年12月5日
包括的核実験禁止条約（CTBT）	×	○	2001年2月23日 （批准）
核兵器用核分裂性物質生産禁止条約 （カットオフ条約） ※現在早期交渉開始、妥結が求められているところ	×	—	—
原子力の安全に関する条約	1996年10月24日	○	1998年7月7日
使用済燃料管理・放射性廃棄物管理の安全に関する条約	2001年6月18日	○	2001年6月18日
原子力事故の早期通報に関する条約	1986年10月27日	○	1987年2月26日
原子力事故又は放射線緊急事態の場合における援助に関する条約	1987年2月26日	○	1987年2月26日
核物質の防護に関する条約	1987年2月8日	○	1993年8月5日
改正核物質の防護に関する条約	2016年5月8日	○	2016年5月8日
核によるテロリズムの行為の防止に関する国際条約	2007年7月7日	○	2007年9月25日
原子力損害の補完的補償に関する条約（CSC）	2015年4月15日	×	—
パリ条約	1968年4月1日	×	—
ウィーン条約	1977年11月12日	○	1996年12月20日
IAEA保障措置協定	—	○	1998年1月22日
IAEA追加議定書	—	○	2006年1月24日

組織名

国営原子力発電会社エネルゴアトム <http://www.energoatom.com.ua/ua/>

国家専門会社チョルノービリ原子力発電所 <https://chnpp.gov.ua/ua/>

VostGOK（国営ウラン生産・加工会社）

国営電力会社ウクレネルゴ <https://ua.energy/>

国家原子力規制検査局 <http://www.snrc.gov.ua/>

エネルギー省 <https://mev.gov.ua/>

生態・天然資源省 <https://mineco.gov.ua/>

緊急事態庁 <https://www.dsns.gov.ua/>

国家立入禁止区域管理庁 <https://dazv.gov.ua>

国際原子力安全センター <http://www.insc.gov.ua/>

原子力・放射線安全科学技術センター <https://sstc.ua/>

チョルノービリ原子力安全・放射性廃棄物・放射性生態学センター <http://www.chornobyl.net/>

原子力研究所 <http://www.kinr.kiev.ua/>

ハリキウ物理技術研究所 <https://www.kipt.kharkov.ua/>

キーウ科学研究設計研究所“Energoproekt（エネルゴプロジェクト）”（KIEP） <https://kiep.co/>

ハリキウ科学研究設計研究所“Energoproekt（エネルゴプロジェクト）” <http://www.energoproekt.com.ua/>

ウクライナ国立科学アカデミー <https://www.nas.gov.ua/>

ハリキウターボアトム（タービン製造） <https://ukrenergymachines.com/en>

アトムエネルゴマシ（RPVの鍛造部材製造） <https://aem.zp.ua>

HARTRON <http://www.hartron.com.ua/>