

燃料サイクルにかかわる科学技術的諸問題

概要 / 目的:

本ウェビナーでは、オープン及びクローズドという2つの燃料サイクルにおける科学技術的問題について説明します。オープン燃料サイクルにおけるサーマルリアクターがもつ問題点及び、クローズド燃料サイクルにおける高速炉のメリットに焦点を当てつつ、混合UN燃料と使用済燃料処理の最新の技術開発についても紹介します。さらに“Proryv”プロジェクトで開発されている新しい技術プラットフォームについても紹介します。

講演者紹介:

Alexander Orlov博士 は「Proryv」プロジェクトR&D科学部長のアドバイザーである。2012年から鉛・ナトリウム冷却高速炉、新型炉（U-Pu・窒化混合燃料）、使用済燃料再処理技術開発メンバーであり、これら技術は総合して「Proryv」プロジェクトとして知られる。

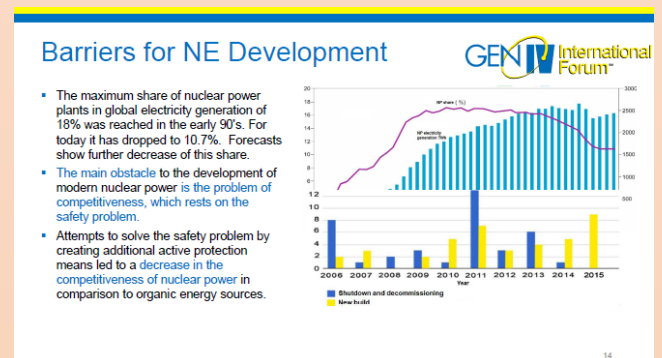


原子力導入の悲観的な予測とその障害：

世界の原子力発電導入シナリオ分析に依れば、全てのシナリオは中国以外、原子力導入の悲観的な成長を示している。原子力導入の障害は追加的な安全対策による競争性の欠落である。現在及び/又は古いオープン核燃料サイクルは中期的な燃料供給には充分であるが、長期的な利用には、ウランの低有効利用性、環境需要性の欠如、及び核不拡散リスクの面から限界がある。

Scale of NE Development in Total Electric Power Generation in the World (INEI-2016 forecast), TW*h

	2013	Probable scenario					Critical scenario 2040	Favorable scenario 2040
		2020	2025	2030	2035	2040		
World	2478	3117	3423	3886	4184	4433	4154	4718
USA	822	886	921	899	869	870	858	896
EU	903	872	779	836	793	762	688	803
China	153	389	585	805	994	1147	1080	1207
Russia	173	221	223	229	250	280	245	294
India	34	79	120	159	195	229	203	257



高速炉新技術プラットフォーム (New Technology Platform: NTP)：

高速炉クローズド燃料サイクルは、放射性廃棄物の最小化、使用済燃料 (SNF) 及び貯蔵プルトニウム低減の面で利点がある。ロシア政府はNTPの開発戦略 (Stratify-2000) を構築し、2020年までのマイルストーンに基づきこれを進めている。

NPTには、4つの主要課題、1) 技術安全、2) 環境安全、3) 持続可能な燃料供給、及び4) 競争性の解決が求められる。

Advantages of Closed Nuclear Fuel Cycle (CNFC) vs. Open Nuclear Fuel Cycle (ONFC):

Parameter	ONFC	CNFC
Yearly consumption of U per 1 GW-year (e)	170 tons	1 ton
U consumption for 60 years per 1 GW(e)	10 000 tons	60 tons
Max power of NE with 600-700 thousand tons of natural U	60-70 GW for 60 years	600-700 GW for 1000 years
SNF, HAW (actinides) per 1GW-year	17 tons	Reprocessed SNF
RAW as fissile particles per 1GW-year	1 ton	1 ton

- In minimization of fuel and RAW flows
- In lowering stored SNF quantities
- In lowering stored Pu quantities

NTP Requirements

- Technical safety of Nuclear Energy - elimination of accidents that require evacuation of the population
- Environmental safety of the nuclear fuel cycle - solving the problems of LLHLW (long-living high active waste) handling and SNF accumulation
- Sustainable fuel supply for Nuclear Energy - CNFC can become the basis for long-term provision of nuclear fuel (for thousands of years) with fuel raw materials
- Competitiveness of Nuclear Energy

1) 技術安全及び 2) 環境

技術安全を達成するため目標は、原子力発電所及び他の原子力施設における人々の避難が必要となる事故の排除である。ゼロ余剰反応度高濃度燃料炉心、鉛冷却剤、及び自然循環のための空冷熱交換器は反応度事故及び熱除去損失事故を排除するための方策となり得る。

環境安全のための目標は、長寿命高レベル放射性廃棄物の処理の社会受容、及びSNF累積の回避である。SNFの処理、マイナーアクチノイド変換及び放射性廃棄物の処分は、環境に重大な量の放射性廃棄物の処分の禁止、SNF量の削減、及び放射性廃棄物の隔離のための方策と定義される。

"Proryv" Project: Elimination of Accidents with Loss of Heat Removal and Fast Neutron Acceleration

Integral layout of the reactor unit - allows localizing coolant leaks in the bulk of the reactor body and ensuring conditions for efficient natural circulation

Equilibrium dense fuel - It's shown that equilibrium condition of a core in terms of reactivity is reached fairly quickly (5-8 years).

Reactivity margin in BREST with Mixed U-Pu nitride (MNIT) fuel. Special measures allow stabilizing reactivity for the whole life cycle of Reactor Unit.

Environmental Safety of NTP RAW Burial

The reprocessing of spent nuclear fuel for the recycling of unburned uranium and plutonium opens the possibility for solving the problem of waste of NE, provided that optimal approaches to handling various components of LLHLW are selected

3) 持続可能な燃料供給、及び 4) 競争性

原材料を伴う長期的な核燃料の供給は、持続可能な燃料供給の目標である。増殖費1以下の高速炉、SNF再処理及び再利用物質を用いた燃料加工を利用した、炉心の核分裂性核種の完全な再生産及びクローズド核燃料サイクルへの移行は、この目標を達成し得る手段である。

競争性は、原子力発電所のシステムの数及び炉の設計の簡素化、及び燃料構造材及びオンサイト燃料サイクルシステムによる輸送コストの低減によつ実現可能である。

Raw Material Stability of NTP-Transfer to Closed NFC

All types of FR in CNFC allow changing the raw material base of Nuclear Energy from limited U-235 (0.7% of natural U) to practically unlimited U-238 (99.3%). FR per 1 GW consumes 0.7 t of U per year, compared to 160 t of natural uranium for WWER. Such raw material base opens prospects for large-scale use of NE for solving problems of sustainable development.

Energy potential of various types of raw material resources in Russia

Competitiveness Requirements of "Proryv" Project

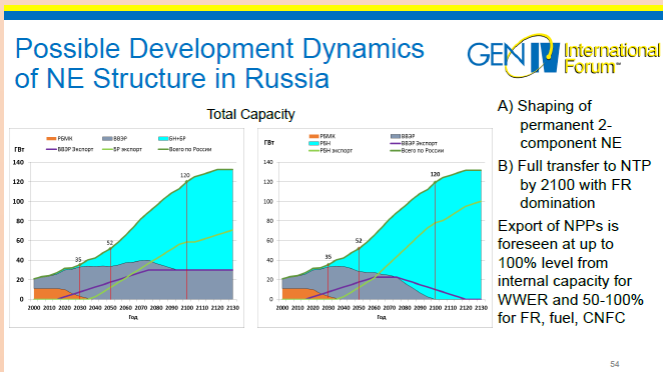
Parameter	Requirement as for 2017 prices
Unit power, MW(e)	1220
C. paid, %	93
Normal mode ratio p/MW(e)	0.3
Self cons. of electr., %	5.0
Capital costs, th. RuR. kW	\$1.3
Capital costs, billions RuR. (without VAT)	198.5
Manufact. of fuel, th. RuR. kg t.m.	131.9
Treatment of SNF-RAW, th. RuR. kg t.m.	\$1.4

The decomposed requirements of competitiveness of the "PRORYV" Project, are developed in accordance with current local regulations of the State Corporation Rosatom, agreed with corresponding structures of SC Rosatom and competent outside organizations (INEI RAS, INES). These requirements are stated in the Terms of Reference for "PRORYV" Project (approved in 2015), Terms of Reference for development of conceptual design (CD) for IEC (Industrial Energy Complex) with BN-1200 reactor, Terms of Reference for development of conceptual design for IEC with BR-1200 reactor (both approved in 2016), terms of reference for development of CNFC conceptual design based on BR-1200 and BN-1200 (approved in 2017). Confirmation of achievability of the set economic requirements is planned on the basis of the development results of IEC conceptual design with BN-1200 and BR-1200.

Proryv プロジェクト :

露ロスアトムによって実施されているProryv プロジェクトは、これらの課題達成を目的としている。技術安全のために7つの方策が検討差されており、窒化物燃料鉛冷却炉BREST-OD-300が開発されている。開発の為、多くのソフトウェア解析と窒化物燃料の試験炉照射が行われている。また、環境安全のため、乾式化学再処理、ブランケットのない設計、及びマイナーアクチノイドの核変換も検討されている。

高濃度燃料及び再処理によるBREST-OD-300、BN-1200、及び産業による設計プロジェクトを想定した試験的エネルギー供給構造にかかるロシアにおける予備的なシナリオ検討の結果は、高速炉クローズド燃料サイクルへの完全な以降は、21世紀末までに120GWを供給する事を示した。



Further R&D Tasks of "Proryv" Project

R&D of PDEC objects (until commissioning):

- DCS, IM, MM, EM
- BREST: MCP tests, SG, coolant control tech, BFS, mockup core items tests, RU equipment, materials testing.
- CNFC:
- Development of FU equipment (ovens, presses, distant manipulators).
- RU processes R&D: reprocessing of SNF and RAW treatment.
- MNIT fuel:
- Development of fuel testing program: justification of 6% burnout

R&D of IEC objects :

- Design project – justification of competitiveness of CNFC with FR
- MNIT – experimental verification of 12% burnout and its reprocessing
- BN-1200 – finalizing R&D program
- BR-1200 – fulfillment of R&D program
- CNFC objects – fulfillment of R&D program

General systematic R&D:

- Norms and regulations
- Optimization of 2-component NE with CNFC and FR and TR
- R&D of RAW to implement radioactive-equivalent treatment of FM in CNFC
- Development of software codes for Reactor Unit, CNFC, Safety

R&D on ODEC:

- Equilibrium Core physics
- Operating reactor unit with lead coolant
- Optimizing pilot-industrial CNFC tech

結語:

PRORYVプロジェクトは、NPTに求められる主要な課題検討についての主導権をもたらしている。世界の原子力発電所の危機は2018－2035年の間、高速炉に基づく最初の産業エネルギーの複合構造の創出によって克服可能である。

CONCLUSION

"PRORYV" Project provides the State Corporation "Rosatom" with leadership in:

- Construction of FR with inherent safety (deterministic exclusion of accidents requiring evacuation of the population)
- Creation of dense MNIT fuel, optimal for Fast Reactors
- Final solution of the problem of SNF accumulation and radiation equivalent treatment of radioactive waste
- Creation of the world's first pilot energy complex with FR and CNFC technologies (PDEC)

The crisis of world nuclear power can be overcome by the creation between 2018-2035 of the first industrial IEC (Industrial Energy Complex) based on Fast Reactors:

- With BN-1200 reactor, if competitiveness with WWER will be confirmed by design project
- With BR-1200, which is competitive with CCGT and RES
- Reduction of natural uranium consumption by 6 times and the growth rate of SNF stocks with the introduction of FR
- Phased introduction of SNF reprocessing technologies when economic feasibility is achieved (price of uranium raw materials and SNF storage)