

ナトリウム冷却高速炉(SFR)

概要 / 目的:

高速炉としての特徴、主要なメリットを紹介します。ナトリウム冷却高速炉(SFR)に関する国際的な開発知見や開発の歴史を振り返り、最後に第4世代SFR技術の研究開発に関する国際協力について紹介します。

講演者紹介:

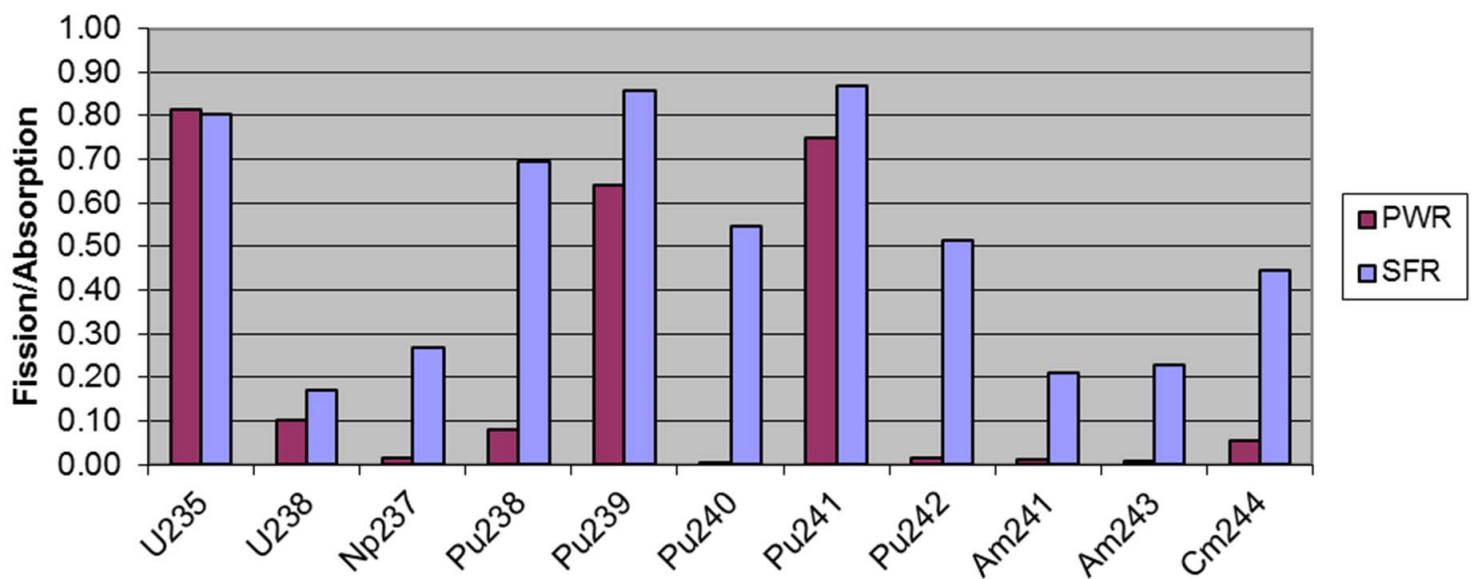
Dr. Robert Hill は、DOEの多研究所間先進原子炉技術プログラムの共同国家技術ディレクターを務める。このプログラムは、技術革新、安全性と許認可、先端材料、エネルギー変換技術、計装・制御などを行う。Dr. Hillは、第4世代原子炉システムに関する国際フォーラムにおける、ナトリウム冷却高速炉システム運営会議及びシステム統合プロジェクトの米国メンバーである。



エネルギースペクトルの燃料サイクルへの影響:

高速炉は一般的に、ウラン転換による閉じた燃料サイクル(リサイクル)と資源拡張を意図している。

- 高位の同位体の生成が抑制される
- 超ウラン元素 (Pu, Np, and Am)の燃焼に好ましい中性子バランス



ウラン活用:

ウラン活用は高速炉技術の最も大きい利点の一つである。

古典的なワンスルーのシステムでは、濃縮過程で多くの劣化ウランが廃棄され、最終的なウラン利用率は1%に満たない。一方で高速炉を利用することによりウランのリサイクルを行えば、90%以上のウラン利用率が期待できる。

Once-through systems

	PWR-50GWd/t	PWR-100GWd/t	VHTR	Fast Burner
Burnup, %	5	10	10.5	22.3
Enrichment, %	4.2	8.5	14.0	12.5
Utilization, %	0.6	0.6	0.4	0.8

Recycling Systems

	LWR		LWR-Fast Burner		Fast
	UOX	MOX	LWR-UOX	Fast Burner	Converter
Power sharing, %	90	10	57	43	100
Burnup, %	5	10	5	9	-
Enrichment, %	4.2	-	4.2	12.5	-
Utilization, %	0.7		1.4		~99

高速炉冷却材としてのナトリウム:

ナトリウムは優れた熱物性及び熱流動特性を持ち、以下の利点がある。

- 従来のステンレス鋼が使用可能
- 高出力密度、低濃縮度で重金属使用量が少ない小型コアが実現可能
- 自然循環と総合的な受動的安全性が実証されている
- ASTM規格で成文化されたナトリウムが使用可能

Thermophysical Properties:

Excellent Heat Transfer	✓ +
Low Vapor Pressure	✓ +
High Boiling Point	✓ +
Low Melting Point	✓

Material Properties:

Thermal Stability	✓ +
Radiation Stability	✓ +
Material Compatibility	✓ +

Neutronic Properties:

Low Neutron Absorption	✓ +
Minimal Activation	✓
Negligible Moderation	✓ +

Supports Passive Safety	✓ +
-------------------------	-----

Cost:

Initial Inventory	✓ +
Make-Up Inventory	✓ +
Low Pumping Power	✓ +

Hazards:

Sodium reacts with air and water

世界的な利用実績:

過去50年以内に建設されたほぼすべての(陸上の)高速炉はナトリウムを一次冷却材としており、広範囲にわたる試験実績がある。

Reactor	Country	MWth	Operation	Coolant
EBR 1	USA	1.4	1951-63	NaK
BR-2	Russia	2	1956-1957	Mercury
BR-10	Russia	8	1959-71, 1973-2002	Sodium
DFR	UK	60	1959-77	NaK
EBR II	USA	62.5	1963-94	Sodium
Fermi 1	USA	200	1963-72	Sodium
Rapsodie	France	40	1966-82	Sodium
BOR-60	Russia	50	1968-	Sodium
SEFOR	USA	20	1969-1972	Sodium
OK-550/BM-40A	Russia	155 (7 subs)	1969-	Lead Bismuth
BN 350*	Kazakhstan	750	1972-99	Sodium
Phenix	France	563	1973-2009	Sodium
PFR	UK	650	1974-94	Sodium
KNK 2	Germany	58	1977-91	Sodium
Joyo	Japan	140	1978-	Sodium
FFTF	USA	400	1980-93	Sodium
BN 600	Russia'	1470	1980-	Sodium
Superphenix	France	3000	1985-98	Sodium
FBTR	India	40	1985-	Sodium
Monju	Japan	714	1994-96, 2010-	Sodium
CEFR	China	65	2010-	Sodium
PFBR	India	1250	2016?	Sodium
BN-800	Russia	2000	2014-	Sodium
ASTRID	France	1500	2025?	Sodium
PGSFR	Korea	400	2028	Sodium

SFRシステムに対する第4世代研究開発コラボレーション:

GIFは、第4世代原子力システムが達成すべき8つの目標を定めている。これを達成するための技術革新を目指し、これまでに複数の共同研究開発プロジェクトが実施されている。

Criteria	Goal: Generation IV nuclear energy systems will....
Safety and Reliability-1	<i>excel in safety and reliability.</i>
Safety and Reliability-2	<i>have a very low likelihood and degree of reactor core damage.</i>
Safety and Reliability-3	<i>eliminate the need for offsite emergency response.</i>
Economics-1	<i>will have a clear life-cycle cost advantage over other energy sources.</i>
Economics-2	<i>will have a level of financial risk comparable to other energy projects.</i>
Sustainability-1	<i>will provide sustainable energy generation that meets clean air objectives and promotes long-term availability of systems and effective fuel utilization for worldwide energy production.</i>
Sustainability-2	<i>will minimize and manage their nuclear waste and notably reduce the long-term stewardship burden, thereby improving protection for the public health and the environment.</i>
Proliferation Resistance and Physical Protection-1	<i>increase the assurance that they are a very unattractive and the least desirable route for diversion or theft of weapons-usable materials, and provide increased physical protection against acts of terrorism.</i>

SFRシステム研究計画書:

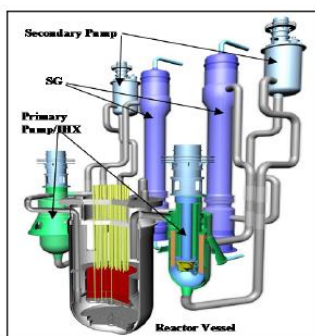
SFRシステム研究計画書は、2013年7月に改訂された。
(最新の改訂3版は2019年10月発行)

内容:

開発目標及び設計要求
5つのSFR研究開発プロジェクト
4種のSFR設計概念

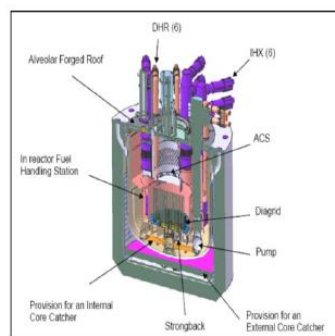
Loop

JSFR

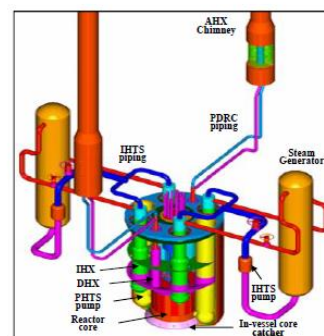


Pool

ESFR



KALIMER



Small Modular

AFR-100

