

<概要>

計画されたものを含め世界各国で開発されている10基の高速増殖炉**原型炉**に関する主要な情報を、比較し易いように表形式にまとめた。PFR、BN-350は運転を停止し、さらにSNR-300、CRBR、およびPRISMの計画は中止された。原型炉の型式はタンク型（プール型とも呼ぶ）とループ型がほぼ半数である。**燃焼度**の目標値は高く、PFRでは最大25万MWd/tであり、既に15万MWd/tを達成している。**冷却材**のナトリウムの温度は、最高560°C、蒸気条件は軽水炉よりも高温・高圧である。

<更新年月>

2004年11月

<本文>

世界各国で計画されているものも含め開発されている高速増殖炉原型炉は、Phenix（フランス）、SNR-300（ドイツ）、PFBR（インド）、**もんじゅ**（日本）、PFR（イギリス）、CRBR（アメリカ）、BN-350（カザフスタン）、BN-600（ロシア）、PRISM（アメリカ）およびKALIMER-600（韓国）の10基である。現在PhenixとBN-600が順調に運転されており、もんじゅは1995年の二次主冷却系ナトリウム漏洩の後、運転が再開されていない。

表1に高速増殖炉原型炉を開発している国、出力、燃料や冷却材の種類などを示した。10基のうち運転中のものが前述の2基、計画中または建設中のものが韓国とインドの2基、停止中のものが1基、残りは閉鎖または中止になっている。カザフスタンのカスピ海沿岸にあるBN-350は原型炉としては世界最初のもので、海水脱塩併用である。1994年4月、BN-350の**廃止措置**が経済的理由により決定した。発電と海水脱塩併用であるロシアのBN-600（電気出力600MW、ベロヤルスク発電所3号機）は1980年2月26日初臨界、1981年12月22日に定格出力に達している。電力・熱併給プラントとして商業運転され、1995年の**設備利用率**は67.5%であった。インドのPFBRは2003年9月に工事認可がおりた。ドイツのSNR-300、アメリカのCRBRおよびイギリスのPFRは財政的事情などにより中止した。また、アメリカのPRISM計画は概念設計の段階であったが、PRISMを含むALMR（Advanced Liquid Metal Reactor）計画全体が1994年度から政策変更などの理由により中止された。韓国のKALIMER-600（600MWe）は現在概念設計が進められている。

原型炉の型式はプール型（タンク型とも呼ぶ）とループ型がほぼ半数である。燃料はPRISMのみがウラン・プルトニウム合金の**金属燃料**で、他は**ウラン・プルトニウム混合酸化物**（PuO₂-UO₂）燃料である。旧ソ連の2つの炉も最初は**ウラン酸化物**（UO₂）燃料であったが、後にPuO₂-UO₂燃料に変えた。

濃縮度、核物質質量、**出力密度**、燃焼度および増殖比の数値を**表2**に示した。CRBRを除いて、炉心は2領域であり、外側の濃縮度を大きくして出力の平坦化を行っている。大きな燃焼度を目標として、イギリスのPFRは最大25万MWd/tを目標とし、既に平均で15万MWd/tを達成している。増殖比は1.1から1.24である。

表3は冷却系の数値を示す。**原子炉**の構造材などに用いるステンレス鋼の高温領域の物性値データが少ないことなどで、冷却材のナトリウム温度は560°C以下の温度に設定されているが、軽水炉よりも高い。したがって蒸気条件も軽水炉よりも高温・高圧である。

主要機器である炉容器、**中間熱交換器**および**蒸気発生器**に関するパラメータを**表4**に、**制御棒**、**原子炉格納容器**、非常用冷却系および工学的安全設備に関する情報を**表5**に示した。原子炉格納容器の形状が直方体であるもの、コンクリートを使用したものが半数ある。

<関連タイトル>

世界の高速増殖炉実験炉 (03-01-05-01)

世界の高速増殖炉実証炉 (03-01-05-03)

日本における高速増殖炉開発の経緯 (03-01-06-01)

高速増殖炉原型炉「もんじゅ」の開発（その1） (03-01-06-04)

<参考文献>

- (1) IAEA : LMFBR Plant Parameters 1991, IWFR/80 (1991)
 - (2) 動力炉・核燃料開発事業団：高速増殖原型炉もんじゅ-設計・建設・試運転の軌跡-（1994年7月）， p20
 - (3) 日本原子力産業会議（編）：原子力年鑑2003年版（平成2003年10月）
 - (4) P.Magee et al.:Performance Analysis of the 840MWt PRISM Reference Burner Core, The 3rd JSME/ASME Joint Int'l. Conf.on Nucl. Eng. Apr. (1995)
 - (5) 日本原子力産業会議（編）：原子力ポケットブック2003年版（2003年8月）
 - (6) 動力炉・核燃料開発事業団：第30回 I A E A / I W G F R 定例年会報告（1997年5月、北京）、P N C - T N 1410-97-024
 - (7) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004)
 - (8) S. C. Chaetal :Status of Fast Reactor Development in India April 2003-March 2004, IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)
-

表1 世界の高速増殖炉原型炉の一般設計諸元

施設名	国名	出力(MW)		型式	炉心燃料	冷却材 一次/二次	初臨界	初発電または 運転開始	現状
		熱	電 気						
Phenix	フランス	563	250	タンク	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1973年	1974年	運転中
SNR-300	ドイツ	762	327	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na			計画中止
PFBR	インド	1210	500	タンク	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na			建設中
もんじゅ	日本	714	280	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1994年		停止中
PFR	イギリス	670	250	タンク	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1974年	1976年	閉鎖
CRBR	アメリカ	975	380grs 350net	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1983年		計画中止
BN-350	カザフスタン	1000	150 (電力) 200 (海水脱塩用)	ループ	UO ₂ (初期装荷) PuO ₂ ・UO ₂ (取替用)	Na/Na	1972年	1973年	閉鎖
BN-600*1	ロシア	1470	600	タンク	UO ₂ (初期装荷) PuO ₂ ・UO ₂ (取替用)	Na/Na	1980年	1980年	運転中
PRISM	アメリカ	840	310/M	タンク	U-Pu-Zr合金	Na/Na			計画中止
KALIMER-600	韓国		600	ループ	U-TRU-Zr合金	Na/Na			計画中

*1 周辺都市に熱供給を行っている電力・熱供給プラント

[出典] 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plant Parameters 1991, IWGFR/80, IAEA(1991)

2) 日本原子力産業会議(編):原子力ポケットブック2003年版、2003年8月15日

3) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004)、p.12

4) S. C. Chatal: Status of Fast Reactor Development in India, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004), P.1

5) 日本原子力産業会議(編):原子力年鑑2003年版(2003年10月)、p.168-169

表2 世界の高速増殖炉原型炉の炉心設計諸元

施設名	濃縮度(%)		核分裂生物量(kg)			出力密度(kW/リットル)		燃焼度*1(MWd/t)		増殖比
	内側	外側	U-235	Pu-239	Total Pu	最大	平均	最大	平均	
Phenix	16	22	35	717	931	1950	1200	150,000	110,000	1.16
SNR-300	Pu tot 25	Pu tot 36	57	1058	1536	500	315	86,000	57,000	1.1
PFBR	21	28.4	14	1271	1850	1905	1326	100,000	68,000	1.1
もんじゅ	16	21	141		1400		275	130,000	80,000	1.2
PFR	22	28.5	50	760	950	1720	1160	200,000 *2	150,000 *2	0.95
CRBR	32.8		7.6	1468	1705	688	355	74,200	50,000	1.24
BN-350	17	26	1250	0	0	830	435	65,000 *2	45,000 *2	
BN-600	17+21	26	1800	0	0	1587	961	70,000	85,000 *2	62,000
PRISM*										
KALIMER-600*										

*1 目標値

*2 達成値

* 下記の文献では仕様が公表されていない。

【出典】 1) IAEA高速増殖炉WG: LMFBR Plant Parameters 1991, IWGFR/80, IAEA(1991)

2) 日本原子力産業会議(編): 原子力ポケットブック2003年版、2003年8月15日

3) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004), P.12(Private Communication)

表3 世界の高速増殖炉原型炉の冷却系設計諸元

施設名	一次冷却系				二次系				蒸気条件	
	ループ数	Na量 (t)	全流量 (kg/s)	温度 (°C) *1	ループ数	Na量 (t)	全流量 (kg/s)	温度 (°C) *2	温度 (°C)	圧力 (kg/cm ²)
Phenix	3	800	3000	560/385	3	381	2319	550/343	510	171
SNR-300	3	550	3500	546/377	3	402	3270	521/32B	495	163
PFBR	4	1200	6392	530/380	4	660	6172	505/350	480	169
もんじゅ	3	880	4250	529/397	3	800	3090	505/325	483	128
PFR	3	850	3090	560/399	3	240	2925	540/370	513	131
CRBR	3	630	5240	535/388	3	580	4836	502/344	482	100
BN-350	6	470	3950	500/300	6*3	450	4400	450/270	435	50
BN-600	3	770	6600	550/380	3	830	8300	520/330	500	130
PRISM			2600	485/329			2300	443/282		
KALIMER-600	2									

*1 原子炉出口/入口温度

*2 中間熱交換機2次出口/入口温度

*3 1ループ(リザーバルループ)

(注)空欄については詳細不明

[出典] 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plant Parameters 1991, IWGFR/80, IAEA(1991)

2) 日本原子力産業会議(編):原子力ポケットブック2003年版、2003年8月15日

3) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004), p.12

表4 世界の高速増殖炉原型炉の主要機器設計諸元

施設名	炉容器		中間熱交換機		蒸気発生器(基数/ループ)			蒸気発生器容量(MW/基)		
	内径 (mm)	内高 (mm)	基数 /ループ	容量 (MW/基)	蒸発器	過熱器	再熱器	蒸発器	過熱器	再熱器
Phenix	11.82	12,000	2	94	12	12	12	10	3.37	2.6
SNR-300	6,700	15,000	3	85	3	3	1*	55.4	30.1	
PFBR	15,000	14,500	2	152	3	3	3	65.7	19	16.7
もんじゅ	7,100	17,800	1	238	1	1		191	47	
PFR	12,200	15,200	2	100	1	1	1	130	55	25
CRBR	6,170	17,920	1	325	2	1	0	162.5	325	
BN-350	6,000	11,900	2	100	2	2		81	19	
BN-600	12,880	12,600	2	245	8	8	8	41.2	10.7	9.3
PRISM										
KALIMER-600			2							

*1 蒸気加熱

(注) 空欄については詳細不明

[出典] 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plant Parameters 1991, IWGFR/80, IAEA(1991)

2) 日本原子力産業会議(編):原子力ポケットブック2003年版、2003年8月15日

3) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea, IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004), p.12

表5 世界の高速増殖炉原型炉の主な安全設備設計諸元

施設名	制御棒(本)		格納容器		非常用冷却系			工学的安全設備	
	安全棒	調整棒	形	材質	方式	容量(MW)	記号	方式	記号
Phenix	6 *1		直方体	コンクリート	PM	12	NCM: 主冷却系の 自然循環	TGV	EP: 垂直配管保護容器
SNR-300	12	9	直方体	鋼とコンクリート	NCM	12		EP, TGV, EC, NP, CI	DW: 一次系二重管
PFBR	12 *1		円筒	コンクリート	ES	32	ES: 独立の非常 用熱除去系	DW, TPGV, EC, NP	CI: 格納容器隔離
もんじゅ	6	13	円筒	炭素鋼	ES	45		NP, TGV, EP, CI	TPGV: 炉容器配管の保護 容器
PFR	5	5	直方体	鋼とコンクリート	PM, TS	15	PM: ポニーモー 夕運転	NP	TGV: 格納容器保護容器
CRBR	15	15	円筒	炭素鋼	PM, ES	*2		EP, CI, TGV	
BN-350	3	9	直方体	コンクリート	PM	30	TS: 自然対流に よる大気へ の放熱	TPGV	EC: 自然循環冷却
BN-600	6	21	直方体	コンクリート	NCM, PM	45		TGV, NP	NP: ナトリウム液位の 低下防止
PRISM									
KALIMER-600					NCM, ES				

*1 安全棒 + 調整棒

*2 PM: 100MW, ES-1:18MW, ES-2:45MW, ES-3:10MW

(注) 空欄については詳細不明

[出典] 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plant Parameters 1991, IWGFR/80, IAEA(1991)

2) Dohee Hahn: Status of the Fast Reactor Technology Development Programme in Korea,
IAEA TWG-FR, 37th TWG-FR Annual Meeting, May (2004), p.14