

<概要>

世界各国で開発されている11基の[高速増殖炉実験炉](#)に関する主要な設計諸元を、比較し易いように表形式にまとめた。このうち、[Rapsodie](#)、KNK-2、DFR、EBR-2、Fermiおよび[FFTF](#)は運転を停止し、閉鎖された。また、PECは建設を中止した。一方、最近経済発展が急峻な中国では新たにCEFRの建設を開始した。また、日本の常陽は炉心および冷却系を改造して、出力を今までの1.4倍に増加して照射効率の向上を図った。実験炉の型式は殆どループ型であるが、EBR-2のみタンク型（プール型とも云う）である。[燃焼度](#)は、最高17.2万MWd/tを達成している。[冷却材](#)のナトリウムの温度は550℃以下である。

<更新年月>

2004年11月

<本文>

アメリカが建設し既に閉鎖されているClementine（1946年初臨界、25kWt）、EBR-1（1951年初臨界、0.2MWe）、LAMPRE（1961年初臨界、1MWt）およびSEFOR（1969年初臨界、20MWt）の3つの実験炉を除いて、世界各国で開発された高速増殖炉実験炉は、[Rapsodie](#)（フランス）、KNK-2（ドイツ）、FBTR（インド）、PEC（イタリア）、常陽（日本）、DFR（イギリス）、BOR-60（ロシア）、およびEBR-2、Fermi、FFTF（アメリカ）の10基である。また中国のCEFRは2007年の初臨界を目指して、現在建設中である。

イタリアのPECは建設途中で中止した。また[Rapsodie](#)、KNK-2、DFRおよびFermiは閉鎖または[解体](#)された。また、EBR-2及びFFTFも閉鎖されることになり、現在運転中のものはFBTR（42.5MWt、15MWe）、常陽（140MWt）およびBOR-60（55MWt、12MWe）の3基である。常陽は、炉心および冷却系を改造し、2003年10月に定格140MWt運転を達成した。

これら実験炉の型式、燃料および冷却材の種類、現状などを[表1](#)に示す。殆どはループ型で、混合酸化物燃料（PuO₂-UO₂）、ナトリウム冷却の炉であるが、閉鎖されたEBR-2はタンク型（プール型とも呼ぶ）で金属ウラン燃料を使用していた。また、DFRの冷却材は[NaK](#)を用いていた。

[表2](#)は濃縮度、核物質質量、[出力密度](#)、燃焼度および増殖比の数値である。全般的に、燃焼度は[軽水炉](#)よりも大きく、最大17万2千MWd/tや15万5千MWd/tを達成したものもある。

冷却系の流量、温度などの数値を[表3](#)に示した。冷却材のナトリウムの沸騰点は約883℃であり、可成り高温で使用できるが、[原子炉](#)の構造材などに使用しているステンレス鋼の高温での物性値データが少ないことなどの理由で、高温側でも550℃以下のナトリウム温度で運転されている。

高速増殖炉の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設計諸元を[表5](#)に示した。ロシアのBOR-60のみ原子炉格納容器がコンクリート製の一般建築級である。[高速炉](#)では冷却材にナトリウムを使用しているため、工学的安全設備として軽水炉のような冷却水を使う非常用炉心冷却設備（[ECCS](#)）を使用しないで、炉容器や配管に保護容器（[ガードベッセル](#)）を設けるよう設計されている。

<関連タイトル>

[世界の高速増殖炉原型炉 \(03-01-05-02\)](#)

＜参考文献＞

- (1) IAEA : LMFR Plant Parameters 1991, IWGFR/80 (1991)
 - (2) 日本原子力産業会議 (編) : 原子力年鑑2003年版, (平成15年10月)
 - (3) 日本原子力産業会議 (編) : 世界の原子力発電開発の動向 1996年次報告, (平成9年4月30日)
 - (4) 日本原子力産業会議 (編) : 原子力ポケットブック2003年版、日本原子力産業会議 (2003年8月)
 - (5) 動力炉・核燃料開発事業団 : 第30回IAEA/IWGFR定例年会報告 (1997年5月、北京)、PNC-TN1410-97-024
 - (6) L. U. Daogang and X. U. Mi : The Status of Fast Reactor Technology Development in China, IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)
 - (7) サイクル機構技報 : 「高速実験炉「常陽」の高度化計画 (MK-III計画) と今後の展望」、No21 別冊、2003.12
-

表1 世界の高速増殖炉実験炉の一般設計諸元

施設名	国名	出力(MW)		型式	炉心燃料	冷却材 1次/2次	初臨界	初発電または 運転開始	現状
		熱	電気						
Rapsodie	フランス	40	—	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1967年	1967年**	閉鎖
KNK-Ⅱ	ドイツ	58	20	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1977年	1979年	閉鎖
FBTR	インド	42.5	15	ループ	(Pu+U)C	Na/Na	1985年	1986年	運転中
PEC	イタリア	123	—	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	—	—	計画中止
常陽	日本	140*	—	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1977年(MK-I)	1977年(MK-I)	運転中
DFR	イギリス	60	15	ループ	U-7%Mo合金	NaK/NaK	1959年	1962年	閉鎖
BOR-60	ロシア	55	12	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1968年	1970年	運転中
EBR-Ⅱ	アメリカ	62.5	20	タンク	金属ウラン	Na/Na	1961年	1965年	閉鎖
Fermi	アメリカ	200	61	ループ	U-10%Mo合金	Na/Na	1963年	1966年	閉鎖
FFTF	アメリカ	400	—	ループ	PuO ₂ ・UO ₂	Na/Na	1980年	1980年**	閉鎖
CEFR	中国	65	20	ループ	UO ₂ (初期装荷) PuO ₂ ・UO ₂ (二次)	Na/Na	2007年予定		建設中

* MK-Ⅲ炉心

** 初期発電出力

【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) サイクル機構技報: 「高速実験炉「常陽」の高度化計画(MK-Ⅲ計画)と今後の展望」、No21 別冊(2003.12)、p.7

4) Daogang Lu & Mi Xu, :The Status of Fast Reactor Technology Development in China、IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)(Private Communication)

表2 世界の高速増殖炉実験炉の炉心設計諸元

施設名	濃縮度 (%)		核分裂生物量(k g)			出力密度 (kW/リットル)		燃焼度(MWd/t)		増殖比
	内側	外側	U-235	Pu-239	Total Pu	最大	平均	最大	平均	
Rapsodie	55		79.5	31.5		3060	780	90,000 *1		
KNK- II	83-93U235 +30Pu tot	37U235	312	28	40	1280/886	985/599	69,000 172,000 *1	52,000 75,000 *1	
FBTR	55 PuC in (PuC+UC)		0.179	55.37	58.91	1088	873	50,000	38,000	
PEC	28.5		79	175	310	520	350	65,000	57,000	
常陽	18	18	110	160(Pu239 +Pu241)			557	90,000 (炉心燃料) 200,000 (試験用要素)		1.06 MK-I
DFR	75		247	3	3.5	1250	900	3,000 *1	2,500 *1	
BOR-60	45-75		95	53(Pu239+ Pu241)	58	930	775	80,000 *1	67,000 *1	
EBR- II	67		229	4.5	5	860	512	8.0atom%*1	6.6atom%*1	
Fermi	25.6		484	0	0	774	458	10,000 0.4atom%*1	8,000 0.3atom%*1	1.16
FFTF	20.3	24.6	14	516	587	650	390	155,000 *1	70,000 *1	
CEFR	初期装荷	64.4	236.6			430 (W/cm)			60,000	
	二次装荷	36	92.33	65.76	106.8	430 (W/cm)			100,000	

*1 達成値

*2 試験用/運転用

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

2)Daogang Lu & Mi xu: The Status of Fast Reactor Technology Development in China,
IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting,May(2004)

[出所] 1)原子炉設置許可申請書(高速実験炉設置変更)、平成13年6月29日、<http://www.jnc.go.jp/zooarai/joyo/license/>

表3 世界の高速増殖炉実験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)
Rapsodie	2	36.8	272	515/400	2	20	206	485/360		
KNK - II	2	27	280	525/360	2	50	260	504/322	485	80
FBTR	2	26.7	230	515/380	2	44	138	510/284	480	125
PEC	2	118	630	545/400	2	67	624	495/350		
常陽	2	126	750	500/350	2	73	666	470/300		
DFR	24	51	450	350/230	12	63	450	335/195	270	10.2
BOR-60	2	16	270	545/330	2	25	220	480/210	430	81.6
EBR - II	2	286	500	473/371	1	41	297	467/306	433	90
Fermi	3	160	1185	427/288	3	102	1200	408/269	407	41.8
FFTF	3	406	2180	503/360	3	199	2180	459/316		
CEFR	2	260	369	530/360	2	48.2	274	495/310	480	143

*1 炉容器出口/入口

*2 IHX出口/入口

- 【出典】 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plant Parameters 1991.IWGFR/80.IAEA(1991)
 2) サイクル機構技報:「高速実験炉「常陽」の高度化計画(MK-III計画)と今後の展望」、
 No21 別冊 (2003.12),p.7
 3) Daogang Lu & Mi Xu: The Status of Fast Reactor Technology Development in China,
 IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)

表4 世界の高速増殖炉実験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)	蒸発器	過熱器	再熱器	蒸発器	過熱器	再熱器
Rapsodie	2350	3800	1	20						
KNK-II	1870	10150	2	29	1					
FBTR	2350		1	25	2					
PEC	3080	10300	1	58						
常陽	3600	10000	1	70						
DFR	3200	6300	1	2.5	12	12		0.5	0.5	0.5
BOR-60	1400	6200	1	30	1	1				
EBR-II	7920	3960	1	62	8	2		5.9	7.4	
Fermi	4800	11000	1	66.7	1	1	1	45	12	10
FFTF	6170	13130	1	133						
CEFR	8000	12000	2		1	1				

- 【出典】 1) IAEA高速増殖炉WG:LMFBR Plan tParameters 1991.IWGFR/80.IAEA(1991)
 2) サイクル機構技報:「高速実験炉「常陽」の高度化計画(MK-III計画)と今後の展望」、
 No21 別冊 (2003.12),p.7
 3) Daogang Lu & Mi Xu: The Status of Fast Reactor Technology Development in China、
 IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)

表5 世界の高速増殖炉実験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
Rapsodie	6		円筒	銅	NCM	0.35	NCM: 主冷却系の自然循環 ES: 独立の非常用熱除去系 PM: ポニーモータ運転 TS: 自然対流による大気中への放熱	DW, TGV	EP: 垂直配管保護容器
KNK-II	3+5	5	円筒	銅	NCM			EP	DW: 一次系二重配管
FBTR	6	6	円筒	コンクリート	NCM	0.35		DW	CI: 格納容器隔離
PEC	11		円筒	炭素鋼	ES	公称値の5%		EP, DW	TGV: 格納容器保護容器
常陽	6		円筒	炭素鋼	PM	2.6		DW, CI, TGV	TPGV: 炉容器と配管の保護容器
DFR	9	6	球	銅	TS	2.2		DW	
BOR-60	3	5	直方体	コンクリート	NCM, TS	-		TPGV	EC: 自然循環冷却
EBR-II	2	8	円筒	炭素鋼	ES	0.35		EI	MP: 溶融物受け皿
Fermi	8	2	円筒	炭素鋼	NCM, PM	30		DW, CI, TGV, EC, MP	EI: 格納容器建家内の隔離系
FFTF	9	9	円筒	炭素鋼	NCM	定格値の8%		EP, EC	
CEFR	3+3	2	円筒		NCM, TS	0.525			

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

2) Daogang Lu & Mi Xu, 「The Status of Fast Reactor Technology Development in China」、IAEA TWG-FR, 37th Annual Meeting, May (2004)