

N142 82-01 Rev  
(N142 81-02 Rev.)

# 高速増殖炉実証炉に関する海外の動向

(改訂 2 版)

昭和57年 3 月 27 日



動力炉・核燃料開発事業団

# 目 次

I 概 要 .....	1
II ア メ リ カ .....	3
(1) P L B R .....	3
(2) C D S .....	4
1) 背 景 .....	4
2) 現 状 .....	4
3) 目 的 .....	4
4) 予 算 .....	5
5) 進め方と体制 .....	5
6) 建設スケジュール .....	12
7) プロジェクト・コスト .....	12
8) C D S最終報告書の結論 .....	17
(3) L D Pの進め方 .....	17
(4) 国 際 協 力 .....	17
(5) 再処理研究開発 .....	19
III フ ラ ン ス .....	20
(1) Super - Phénix .....	20
1) 着工前の経過と開発体制 .....	20
2) 着工後の現状 .....	21
3) プロジェクト・コスト .....	22
4) 資 金 分 担 .....	22
5) 経済性比較 .....	23
6) 製 作 分 担 .....	23
(2) Super - Phénix - 2以降の計画 .....	27
1) Mitterrand 政権の原子力政策 .....	27

2) Giscard d'Estaing 政権の高速炉政策 .....	27
3) 2000年までの高速増殖炉計画 .....	27
4) SPX-2計画(前政権時の状況) .....	27
5) SPX-2計画(現政権下の状況) .....	28
6) 再処理計画 .....	29
7) 燃料加工計画 .....	30
8) 経 済 性 .....	30
(3) 独仏高速炉協定 .....	30
 IV イ ギ リ ス .....	 34
(1) 経過と開発体制 .....	34
(2) CDFR .....	34
(3) 国 際 協 力 .....	38
(4) 再 処 理 .....	39
 V 西ドイツ(ベルギー, オランダ含む) .....	 40
(1) 経過と開発体制 .....	40
(2) 着 工 時 期 .....	41
(3) ユニット容量 .....	41
(4) 建設費と分担 .....	41
(5) SNR以降の計画 .....	42
 VI ソ 連 .....	 43
(1) 経 過 .....	43
(2) 開 発 体 制 .....	43
(3) BN-1600 .....	43
(4) BN-800 .....	43
(5) BN-1600以降の計画 .....	44

付表および付図

(1) 高速増殖炉実証炉主要目 .....	45
(2) 世界の高速増殖炉原型炉主要目 .....	46
(3) ヨーロッパ高速増殖炉実証炉開発体制 .....	47
(4) 世界の高速増殖炉開発スケジュール概況 .....	48
(5) 主要国の高速増殖炉実証炉計画 .....	49
(6) 現行高速増殖炉開発協力体制 .....	50
(7) 高速増殖炉開発に関する国際協力 .....	51

## 高速増殖炉実証炉に関する海外の動向

### I 概 要

高速増殖炉実証炉（以下実証炉と呼ぶ）の計画が最も進んでいるのはフランスである。

1,200 MWe Super-Phénix I (Creys - Marville 発電所) の建設は順調に進み、臨界は1984年の予定である。Mitterrand政権の出現により今後の計画は見直しを受けることになるが、これまでの計画によれば、1985年より2×1,500 MWe プラントを1年半おきに6基建設し、2000年には高速増殖炉の設備容量を10～15 GWe とすることになっていた。

ヨーロッパでは、実証炉建設費資金分担の観点からフランスに1基 (Super-Phénix 1) 西ドイツに1基 (SNR-2) の建設にそれぞれ相手国が建設費を分担して、国際プロジェクトとする協定が成立し、後にイタリアがこの協定に参加することになった。但しイタリアはこの協定による実証炉は建設されない。さらにこの電力会社協定と並んで実証炉研究開発成果の交換、共同所有を目的としたエンジニアリング会社、国立研究所の協定も成立し、実証炉技術の早期確立をはかっている。

アメリカでは、古くから実証炉の概念設計研究が行われてきた。最新のものは「LMFBR Conceptual Design Study」(以下CDSと呼ぶ)で、CRBR中止に対する議会と行政府の妥協案として発足した。CDSは1978年10月から開始され、1981年3月最終報告書が議会に提出され、現在議会で検討中である。当初の計画では、この検討結果により、問題のCRBRをスキップして実証炉 (CDSではDevelopmental Plant と呼ばれているが、一般にはLarge Developmental Plant, LDP と呼ばれている) に進むかなど今後の進め方を決めることになっていた。

西ドイツは、300 MWe 原型炉 SNR-300 の設計を発展させた1,300 MWe 実証炉 SNR-2 の概念設計およびこれに必要な研究開発が行われている。当初の計画では、SNR-300 運転1年後にSNR-2を着工することになっていたが、SNR-300完成の大幅な遅延 (現在の見通しでは臨界は1985年もしくは1986年) および原子力に対する一般的な政策が確定できないため、SNR-2の建設は具体化していない。

イギリスは、250 MWe 原型炉 PFR を発展させた1,300 MWe 実証炉 CDFR (Commercial Demonstration Fast Reactor) の概念設計が進行中である。開発当

事者は、1984年公聴会、1985年もしくは1986年着工の予定で計画を進めているが、イギリスではAGRの新規発注、PWRの導入が原子力政策の当面の課題になっており、実証炉建設に対する政府の政策はまだ決定していない。イギリスでは、実証炉を一国で開発するには負担が多過ぎるとして国際プロジェクトでC D F Rを建設することを考えており、フランス、アメリカと話し合いを進めている。

ソ連では、ヨーロッパ・ロシアでエネルギー需給の逼迫が予想され、高速増殖炉の開発は最優先になっている。すでに350 MWe相当原型炉BN-350（ループ型）、600 MWe原型炉BN-600（プール型）が運転中である。1,600 MWe実証炉BN-1600（プール型）は設計中で、1985年もしくは1986年着工の予定である。800 MWe炉も設計中で、BN-1600着工に先立ちBN-800が建設されるとも報道されている。

## Ⅱ アメリカ

### (1) PLBR

1974年4月BRDA(エネルギー研究開発庁、現エネルギー省)は新LMFBR計画を発表し、従来原型炉を3基建設する計画であったものを1基(具体的にはCRBR)とし、これに続いてPLBR(Prototype Large Breeder Reactor、当時はNCBR、Near Commercial Breeder Reactorと呼ばれた)を1基建設し、商業段階に移行する構想が打出された。

PLBRは、当初1979年PSAR(予備安全解析書)提出、1986年臨界の予定で1975年3月よりERDAとEPRI(電力研究所)が共同スポンサーとなって設計が開始された。ERDAとEPRIは均等出資で、予定資金は\$30mであった。参加者は、GE社、WH社、AI社の3炉メーカー、Bechtel社、Burns & Roe社、Stone & Webster社の3アーキテクト・エンジニアで、下記3チームを組んで検討を進めた。

WH社 / Stone & Webster 社

GE社 / Bechtel 社

AI社 / Burns & Roe 社

ERDAのプロジェクト室およびEPRIが管理に当り、国立研究所、電力会社が必要に応じ参加した。ERDA/EPRIはこのプロジェクト中に建設に参加する電力会社のグループを選定し、適当な時期に商業化を達成する計画であった。

設計期間は30か月で、3期に分けられる。第1期は主要代案の研究、基本仕様各種パラメーターの選定、第2期概念設計、第3期詳細設計である。第1期でループ型1,000MWeが選ばれた。

1977年4月Carter政権の出現により、CRBRの中止、高速増殖炉無期延期の政策が打ち出されたため、第2期のループ型概念設計が終り、NUS、C-E社が加わって炉心設計、燃料コスト、蒸気サイクルの検討を行ったあと1977年9月ERDAはこのプロジェクトから部分的に手を引くことになった。EPRIはこのあと、EBR-IIの経験に基づき、プール型について単独でスポンサーとなって検討を続けた。このプール型設計は、フェーズAと称されたが、後述のDOEが実施したCDS作業に並行して現在でも作業が継続されている。

## (2) CDS

### 1) 背景

Carter 大統領は、大統領就任以前から主として核不拡散の観点から高速増殖炉開発に反対の意向を示し、大統領就任後の1977年4月CRBRの中止、高速増殖炉商業化および再処理の無期延期を求める政策を発表した。Carter 大統領は、先に Ford 前大統領が提出していた1978年度予算案を変更してCRBR中止予算を議会に提出した。紆余曲折を経て結局議会はCRBR継続予算をつけた。1979年度予算に対しても Carter 大統領はCRBR中止を求めたため、1978年8月James McClure 上院議員はCarter 大統領と会談し、次のような妥協案が成立した。即ちCRBRの設計は完了させ、既発注分のコンポーネントの製作は継続させるが原則として現状凍結とする。しかし高速増殖炉開発路線をとだえさせないために、大型炉の概念設計(Conceptual Design Study, CDS)を行い、1981年3月最終報告書を議会に提出し、これを審議の上今後の高速炉計画を決定するというのが概要である。このあとCarter 大統領の反対にもかかわらず、議会は各年度CRBRの予算をつけ、McClure 妥協案はその通りには実行されなかったが、CDSについては、当初予定通り作業が行われた。

### 2) 現状

CDSの作業自体は1978年10月に開始され、当初予定通り1981年3月最終報告書が議会に提出された。これまでの予定では、1981年秋に審議が終る予定であった。

しかし現在までCDSを議会在が検討し、今後の高速炉計画のあり方を決めるに到っていない。Reagan 政権が出現して行政府はCRBR, LDP (CDSの対象とする実証炉の名前, Large Developmental Plant)の予算を議会に要求したが、今度は行政府と議会の立場が逆転して、1982年度はようやくCRBR予算が通過した。1983年度LDPに対する予算の動きは次の4)に紹介する。すなわち、今後の高速炉計画に対する総合政策の決定というよりは、CRBR, LDPのプロジェクトに対する予算措置に焦点がすり替っているというのが現状である。

### 3) 目的

アメリカLMFBR計画においてCRBRの次の段階に対して基礎づくりをし、基礎計画に目標を与えることを目的とする。



#### 4) 予 算

CDS開始以来のCDS関係予算は次の通りである。

1979年度	\$ 15 m.	( 約 3.4 億円 )
1980年度	\$ 55 m.	( 12.4 " )
1981年度	\$ 7.5 m.	( 1.7 " )
3か年合計	\$ 77.5 m.	( 約 17.5 億円 )

但しこのうちCDSに直接使用された金額は3年間で\$ 10 m. ( 約 2.3 億円 ) である。

1982年度のLDP予算は\$ 15 m.である。

1983年度行政管理予算局は、DOEのLDP設計予算を認めなかった。DOEは、民間による増殖炉商業化を達成するためには、LDP計画継続の必要を強調したが、大統領府もCRBRのあとの増殖炉設計作業の予算打ち切りに強く賛成し、結局1982年2月議会に提出したReagan政権の1983年度予算要求にはLDPの予算は落ちている。しかし連邦、民間および外国機関の間で大型炉の設計を継続する本協定が成立すれば\$ 15 m.までの予算が利用可能と報道されている。同報道によれば日本と英国が有力な候補としている。

#### 5) 進め方と体制

1978年10月から1979年12月までの基本仕様決定を行う14か月の第1段階、1979年12月から1981年3月までの概念設計を行う16か月の第2段階の2つに分けられた。第1段階では、次の4組の設計チームが結成され、図2-1に示されるように種々の観点から容量、ループ型かブール型か等について幅広い検討を行い基本仕様を決定した。

- Atomics International / Combustion Engineering / Bechtel
- Babcock & Wilcox / Burns and Roe
- General Electric / Bechtel
- Westinghouse / Stone and Webster

基本仕様は次の通り

- プラント規模 — 1,000 MWe ( 発電端 )

- 原子炉型式 —— ループ型
- ループ数 —— 4
- 蒸気サイクル —— 過熱再循環サイクル
- 第1炉心 —— 混合酸化物燃料非均質炉心
- 燃料取扱 —— 三重回転プラグ直動式，燃料移送セル斜道式
- 格納施設 —— 鋼製格納容器
- タービン発電機 —— タンデム・コンパウンド
- 停止熱除去 —— 独立系

DOEプロジェクト室がこれら設計の評価，取りまとめを行うのを援助するため，Boeing Engineering and Construction社が技術とりまとめ者に選定された。同社が選ばれたのは，国防省，NASAなどの政府大型プロジェクト取りまとめの技倆を買われたためと云われている。

第2段階の体制は図2-3に，各社設計解析分担は図2-4，2-5に示される。また作業を行うに当っては，図2-6に示されるような各機関と意見交換を行った。

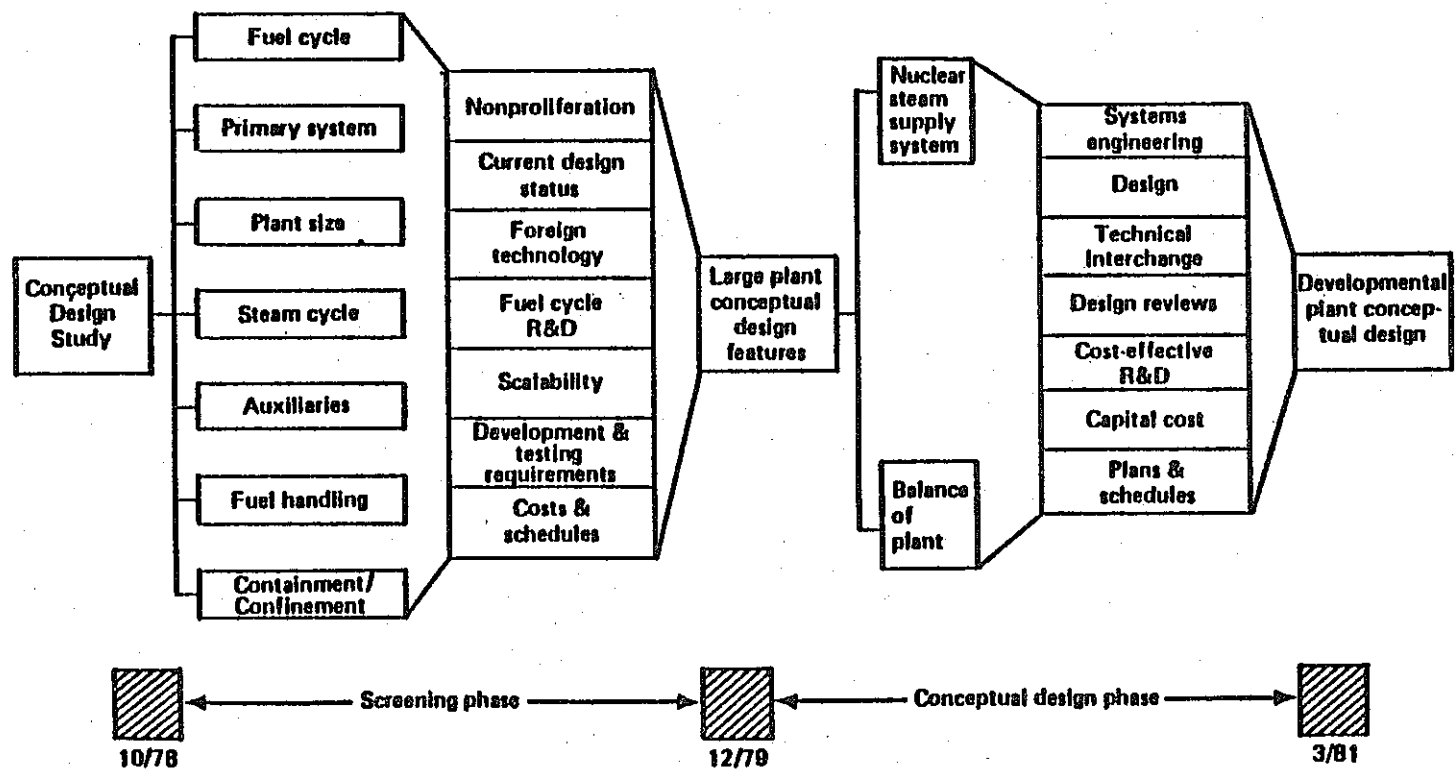
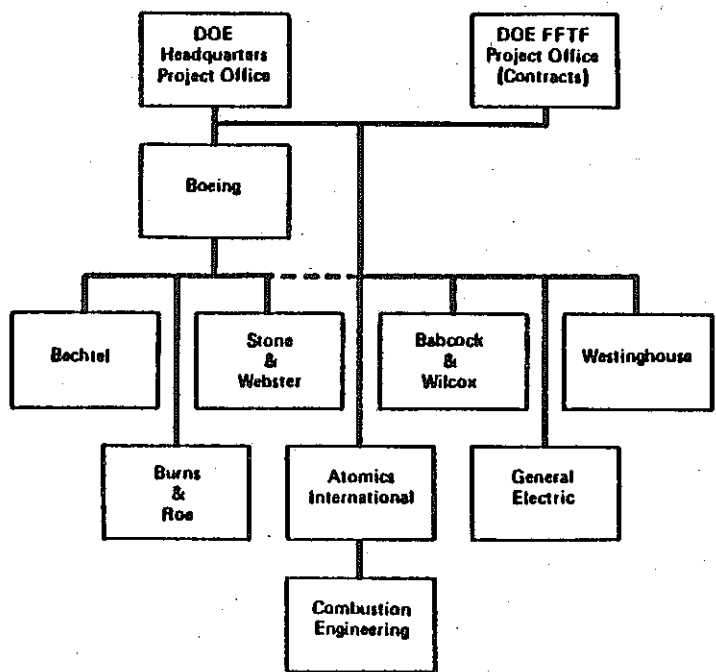
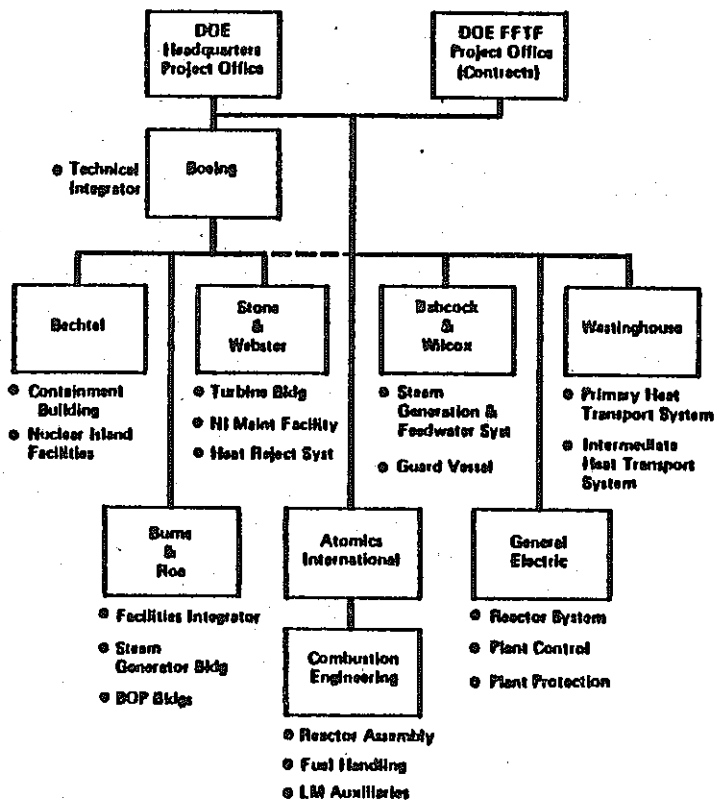


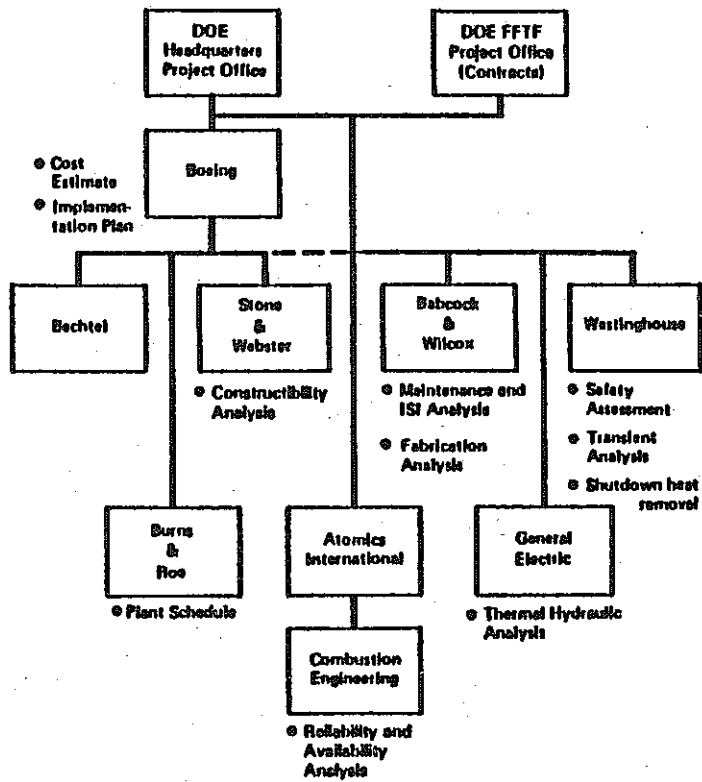
Figure 2-1. Study Narrowing Process



**Figure 2-3. Phase II Organizational Structure**



**Figure 2-4. Phase II Principal Design Responsibilities**



**Figure 2-5. Phase II Plant Level Task Responsibilities**

CDS design activity	Participating organizations (Non-CDS Project)										
	Clinch River	Fast Flux Test Facility	Argonne Nat'l Lab. (East)	Argonne Nat'l Lab. (West)	Hanford Engr. Dev. Lab.	Sandia Lab. (ALB)	Electric Power Research Institute	TVA	Commonwealth Edison (CRBP)	Arizona Public Service	DOE Hdqtrs.
Project requirements review	X	X	X	X	X		X	X		X	X
System design review	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Final design review	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X

Figure 2-6. LMFBR Technical Community Participation

6) 建設スケジュール

実証炉（原文は Developmental Plant）の全出力運転は、プロジェクト公認から 126 か月である。主要マイル・ストーンは、プロジェクト公認後それぞれ予備安全解析書 NRC 提出 14 か月、建設契約 46 か月、零出力試験 120 か月、全出力運転 126 か月である。

7) プロジェクト・コスト

Hanford, Idaho, Oak Ridge の 3 地点に建設した場合の建設費、40 年運転の運転費、電力収入は図 5-1 に示される通りである。各年次支出（収入）は図 5-2、建設費内訳は図 5-3、5-4、5-5 に示される。いずれも 1981 年ドルである。

	HANFORD	IDAHO	OAK RIDGE
<b><u>PLANT COSTS</u></b>			
DESIGN, EQUIPMENT AND CONSTRUCTION	\$ 3.28	\$ 3.28	\$ 3.08
<b><u>OPERATIONS 40 YEARS TOTAL</u></b>			
REVENUE	\$11.53	\$11.53	\$11.53
OPERATING, MAINTENANCE AND FUEL	2.13	2.13	2.08
NET REVENUE	\$ 9.40	\$ 9.40	\$ 9.45

FIGURE 6-1

DEVELOPMENTAL PLANT COST DATA - BILLIONS OF FY 1981 DOLLARS



	Fiscal year											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-50	
<b>Hanford site</b>												
Budget outlays	60.1	124.0	238.2	338.0	400.8	644.7	662.0	654.7	306.0	87.3	(0,621.0)*	(8,116.3)**
Budget authority	125.0	215.0	310.0	390.0	550.0	600.0	590.0	405.0	220.0	61.9	(0,643.2)*	(8,116.3)**
<b>Klaho site</b>												
Budget outlays	61.1	125.8	240.4	340.1	401.4	641.4	655.0	540.3	301.8	87.0	(0,026.0)*	(6,136.0)**
Budget authority	125.0	220.0	310.0	300.0	550.0	600.0	580.0	455.0	220.0	61.4	(0,640.2)*	(6,136.8)**
<b>Oak Ridge site</b>												
Budget outlays	60.0	125.7	241.1	338.2	475.5	603.6	602.0	404.3	277.2	84.5	(0,070.5)*	(6,368.8)**
Budget authority	125.0	220.0	310.0	390.0	525.0	565.0	520.0	410.0	196.0	63.3	(0,691.9)*	(6,368.8)**

\*Net revenue from sale of electricity  
(Revenue less operating costs)

\*\*Net cost benefit from sale of electricity  
(Revenue less all plant and operating costs)

Figure 5-2. Developmental Plant FY Funding Requirements  
(Millions of FY 1981 Dollars)

WBS No.	Category	Engineering	Equipment	Construction	Contingency	Total plant	Operating
210	Project management	173.2	—	—	21.8	104.8	
230	Project engineering	135.4	—	—	18.0	152.3	
240	Nuclear Island	219.3	813.2	83.4	174.7	1,290.6	
240.1	Reactor system	54.9	180.5	21.0	35.1	271.5	
240.2	Fuel receiving & storage	20.1	65.5	9.8	14.3	109.5	
240.3	Primary HTS	19.2	107.4	7.5	22.5	156.6	
240.4	Reactor assembly	30.0	132.2	8.4	28.5	207.0	
240.5	Intermediate HTS	38.4	231.4	22.8	40.0	340.3	
240.6	Plant control & prot. sys.	21.0	42.0	.7	9.1	72.8	
240.7	NSSS auxiliary system	27.8	74.2	13.0	17.3	132.9	
250	Site facilities	98.4	223.9	1,018.5	240.0	1,585.8	
250.1	Site work	3.8	—	322.7	65.0	391.3	
250.2	Nuclear Island buildings	39.8	82.7	380.5	90.6	573.4	
250.3	BOP buildings	5.3	1.5	47.3	10.3	64.4	
250.4	Power conversion system	8.5	81.3	42.8	21.5	151.0	
250.5	BOP auxiliary systems	41.4	78.4	223.4	61.6	404.8	
260	Maintenance & ISI equip.	11.4	33.5	1.7	8.8	53.4	
260.1	BOP	.1	1.4	.2	.2	2.0	
260.2	Reactor plant	11.3	32.1	1.5	8.5	51.4	
	<b>Total plant</b>	<b>835.7</b>	<b>1,070.8</b>	<b>1,101.8</b>	<b>489.0</b>	<b>3,276.0</b>	
270	Operations & maintenance						739.6 (1)
280	Fuel						1,395.1 (1)
	Total operations						2,134.7 (1)
200	Revenue						11,527.9
	Not revenue						9,393.2
	(1) Includes contingency						

Figure 5-3. Plant Cost Data for Hanford Site — Millions of FY 1981 Dollars

WDS No.	Category	Engineering	Equipment	Construction	Contingency	Total plant	Operating
210	Project management	173.2	—	—	21.0	104.0	
230	Project engineering	136.4	—	—	10.0	162.3	
240	Nuclear Island	210.3	843.3	83.4	170.2	1,325.3	
240.1	Reactor system	54.9	168.5	21.0	30.1	270.5	
240.2	Fuel receiving & storage	20.1	87.0	0.6	14.8	112.2	
240.3	Primary HTS	10.2	111.3	7.5	23.1	161.1	
240.4	Reactor assembly	30.9	137.0	0.4	27.2	212.5	
240.5	Intermediate HTS	30.4	239.8	22.8	51.1	340.0	
240.6	Plant control & prot. sys.	21.0	43.0	.7	0.3	74.0	
240.7	NSSS auxiliary system	27.8	77.2	13.0	17.0	130.4	
250	Site facilities	88.4	211.8	885.5	241.0	1,530.7	
250.1	Site work	6.0	—	322.7	65.3	393.6	
250.2	Nuclear Island buildings	30.8	82.7	303.4	87.0	552.7	
250.3	BOP buildings	55.3	1.5	45.2	0.0	61.0	
250.4	Power conversion system	0.5	89.3	40.7	10.3	135.8	
250.5	BOP auxiliary systems	41.4	70.3	213.5	50.5	302.7	
260	Maintenance & ISI Equip.	11.4	33.5	1.7	6.0	53.4	
260.1	BOP	.1	1.4	.2	.3	2.0	
260.2	Reactor plant	11.3	32.1	1.5	6.5	51.4	
	<b>Total plant</b>	<b>637.7</b>	<b>1,088.6</b>	<b>1,070.8</b>	<b>405.5</b>	<b>3,202.4</b>	
270	Operations & maintenance						733.6 (1)
280	Fuel						1,395.1 (1)
	<b>Total operations</b>						<b>2,128.7 (1)</b>
200	Revenue						11,527.0
	<b>Net revenue</b>						<b>9,300.2</b>
	<b>(1) Includes contingency</b>						

Figure 5-4. Plant Cost Data for Idaho Site — Millions of FY 1981 Dollars

WDS No.	Category	Engineering	Equipment	Construction	Contingency	Total plant	Operating
210	Project management	173.2	—	—	21.6	194.8	
230	Project engineering	135.4	—	—	10.9	152.3	
240	Nuclear Island	210.3	843.3	83.4	179.2	1,326.2	
240.1	Reactor system	54.0	168.5	21.0	38.1	278.6	
240.2	Fuel receiving & storage	20.1	67.9	0.6	14.6	112.2	
240.3	Primary HTS	10.2	111.3	7.5	23.1	161.1	
240.4	Reactor assembly	30.0	137.0	8.4	27.2	212.6	
240.5	Intermediate HTS	38.4	230.8	22.8	51.1	349.0	
240.6	Plant control & prot. sys.	21.0	43.6	.7	9.3	74.6	
240.7	HSSS auxiliary system	27.8	77.2	13.6	17.8	136.4	
250	Site facilities	90.4	210.8	825.5	210.2	1,353.0	
250.1	Site work	5.8	—	322.7	85.3	393.8	
250.2	Nuclear Island buildings	30.6	62.7	275.4	60.2	448.0	
250.3	BOP buildings	5.3	1.5	34.0	7.0	48.7	
250.4	Power conversion system	6.5	77.3	31.1	18.8	133.5	
250.5	BOP auxiliary systems	41.4	78.3	102.3	49.2	331.2	
260	Maintenance & ISI equip.	11.4	33.5	1.7	8.8	63.4	
260.1	BOP	.1	1.4	.2	.3	2.0	
260.2	Reactor plant	11.3	32.1	1.5	6.5	61.4	
	Total plant	837.7	1,098.6	910.8	434.7	3,070.6	
270	Operations & maintenance						684.6 (1)
280	Fuel						1,305.1 (1)
	Total operations						2,079.7 (1)
290	Revenue						11,527.0
	Net revenue						9,448.2
	(1) Includes contingency						

Figure 5-5. Plant Cost Data for Oak Ridge Site — Millions of FY 1981 Dollars

#### 8) CDS最終報告書の結論

- 実証炉は、アメリカのLMFBR計画においてCRBRの次の論理的な発展である。
- 実証炉はプロジェクト公認後10.5年で全出力運転にはいる。
- 発電所正味運転収入は建設費をはるかに上廻る。
- 発電所は約1,000MWeを一般需要家に供給できる。
- 実証炉の建設によって得られる利益は大きい。プロジェクトは信頼性のある、経済性にすぐれた、確実性のある、全国的な規模で、本質的に枯渇することのないエネルギー源の開発を大きく進め、LMFBR R&D計画を効果的に進める上ではつきりした目標を与える。

#### (3) LDPの進め方

Reagan 政権は、エネルギー開発の主体を民間に移管し、政府は高いリスクのものに限るといふ基本政策を打ち出している。高速増殖炉について云えば、1981年10月2日付の新原子力政策に対する大統領声明でCRBRの完成を含む高速増殖炉技術の実証研究を促進するよう政府関係機関に指示している。しかし高速増殖炉実証炉の建設は民間主体で行うことを考えている模様である。このことは前節4) CDS予算の項で述べたように1982年度はLDPに\$15mを要求したが、1983年度は零要求であったことで明らかである。

1981年7月DOEは、Reagan 政権の政策に従い、LDPの管理形態、資金調達についてOMB(行政管理予算局)、EPR Iの協力を得て検討を開始した。DOEは、LDPの設計、資金について民間の参加割合を高めること、および他の増殖炉開発団と資金分担をはかることなどを検討している。国内では公社案なども出ている。

アメリカが国際協力の相手として関心を持っているか、提案を受けた国は、次節(3)国際協力の項に述べるようにイギリス、フランス、それに日本である。しかし、アメリカが増殖炉政策を確定できないことなどの理由で交渉は具体化していない。アメリカは、1つの考え方としてアメリカが発電プラント、他国が増殖炉再処理工場、もう1つの国が増殖炉燃料加工工場を設計建設するという1つの考えを持っているとも報道されている。

#### (4) 国際協力

政府間協定等によるLMFBR基礎計画における国際協力を別として、米国を中心とした実証炉関係の国際的な動きは次の通りである。

- 1974年Bechtel社は、フランスTechnicatomeの依頼により1,200 MWe Super-Phénixの設計がアメリカの許認可条件に合うかどうか検討し、大幅な設計変更なく許認可され得るという結論を1976年9月に得た。
- 1975年GE社は、フランスTechnicatome社との技術交換協定によりSuper-Phénixプール型概念の検討を行った。
- 1976年GE社は、イギリスのNPC社とループ型の比較研究を行った。WH社も同様な情報交換を行った。
- 1978～1979年フランスはSuper-Phénixの技術をGE社、WH社、AI社、CE社などに販売する交渉を行ったが、アメリカ政府の反対などのために実現しなかった。
- 1978年5月アメリカのRockefeller財団は「増殖炉の国際協力」という報告書を発表し、アメリカと日本は、できればイギリスを含めて共同実証炉計画を策定すべきであると提言した。具体的には日米間で1,000 MWe級実証炉を3基（アメリカ、日本、アメリカの順に約3年間隔で合計3基）建設することを提案している。
- 1980年アメリカとイギリスは、第1号炉は英国にCDFRを建設し、第2号炉はアメリカに建設され、再処理工場を含めて5～6基の増殖炉を共同で建設する計画について政府間交渉が行われたが、イギリスではCDFR建設決定は1985年となること、アメリカではCater大統領の増殖炉商業化延期政策のため実現に到らなかった。
- 1981年4月フランスCEA Michel Pecqueur長官はワシントンでアメリカの当局者にアメリカの実証炉開発にフランスの技術を利用すれば、\$5 bn.が節約されるとして米仏協力を提案した。フランスの提案は、頭金\$100m.、ロイヤルティー各炉5%である。  
アメリカは、フランスの提案には乗り気でない。1981年7月、フランスは頭金\$100m.ロイヤルティー5%を改訂（数値不明）したが交渉は進展していない模様である。
- 1981年5月イギリスのエネルギー相David Howellは、アメリカのDOE長官James Edwardsその他を表敬訪問したあと、1981年6月イギリスのエネルギー省次官Ivor ManleyはアメリカDOE次官Kenneth Davisと会談した。増殖炉協力延長が議題であった。

しかし、アメリカの増殖炉計画が確定しなければ、本質的な進展は見られないとされている。

(5) 再処理研究開発

DOEのLMFBR開発計画の一環として行われている高速増殖炉燃料再処理研究開発のなかで、Hot Experimental Facility (HEF) 概念設計は代表的な計画である。5年間\$13m. をかけ、1981年4月完成した。アメリカにおける大型高速増殖炉の最初の4基を対象とし、容量150トン/年である。現在HEFを建設する計画は具体化していない。

HEFでは、運転員および周辺への被曝低減、プロセスおよびシステムの信頼性向上、保障措置および転用抵抗性向上、運転および保守の容易化をはかるために遠隔操作されることが一つの特徴である (Remotex と呼ばれる)。このほか燃料集合体解体、切断、ボロキシレーション法、回転式連続溶解装置、遠心式抽出機等についての新しい概念の開発を進めており、1981年末より建設されるコールドの Integrated Equipment Test (IET) 施設で実証試験が行われる予定である。

### Ⅲ フランス

#### (1) Super - Phénix

##### 1) 着工前の経過と開発体制

250 MWe 原型炉 Phénix に続く実証炉 Super - Phénix の設計研究は 1969 年秋に始まった。設計の基本は Phénix の外挿型である。CEA は Babcox - Atlantique 社等に設計を発注した。

1971 年 5 月フランスの EDF を西ドイツの RWE は、1,000 MWe 級実証炉をそれぞれ 1 基ずつ建設することで合意した。ヨーロッパ・レベルにおける高速炉開発のリスク分散、資金の効率的利用にある。1971 年 7 月イタリアの ENEL が参加することになり出資比率は次の通りとなった。

	フランス EDF	イタリア ENEL	西ドイツ RWE
Super - Phénix	51%	33%	16%
SNR - 2	16%	33%	51%

1971 年 9 月 Super - Phénix の設計、建設を担当する Technicatome が CEA 90%、EDF 10% 出資で設立され、CEA の原子炉建設部の専門家 350 名が移籍した。

1972 年 6 月 Technicatome は G A A A に Super - Phénix の設計を発注した。この頃サイトは Creys - Malville に確定した。

1973 年 12 月 EDF、ENEL、RWE は 1,000 MWe 実証炉 2 基を共同建設する協定を結んだ。1971 年 5～7 月に原則的に合意されていたものである。生産電力は出資比率により精算される。

1974 年 7 月 Super - Phénix の建設管理・運転を行う新会社 NER SA が設立された。

エンジニアリング担当会社は Technicatome 設立後若干の変更があったが、最終的には 1976 年 4 月フランス政府指導のもとに NOVATOME が設立された。設立当初の出資比率は Creusot - Loire 60%、CEA 40% で、最近までの出資比率は Creusot - Loire 36%、CEA 34%、Alsthom - Atlantique 15%、Neyrpic 15% であった。



Mitterrand 政権出現に伴い、一連のフランス企業国有化が進められているが、1981年11月政府は軽水炉メーカー Framatome 社の国有化を行わないと述べている。一方これまで Framatome 社の66%の株を持つ Creusot-Loire 社は近年の業績悪化から業績良好な Framatome 社の吸収合併を計画している。これに伴い Framatome 社は株式会社から合名会社に企業形態を変更するが、合名会社の場合、意志決定は出資者全員一致によらなければならないため、30%出資しているCEAは追加支出なしに Framatome 社の国家管理を強化できる。

この変更に伴い、Novatome 社に対する出資は、Creusot-Loire 社36%、CEA 34%の持分を Framatome 社に移管される。Neyrpic社(Creusot-Loire 社の小会社)15%分は Creusot-Loire 社に移管される。これにより Novatome 社に対する Framatome 社持分は85%となり、実質的に軽水炉メーカーと増殖炉メーカーの統合がなされることになる。残り15%は Alsthom-Atlantique が所有している。

イタリアの加盟に伴い、Super-Phénixのエンジニアリングを担当するのはフランスのNOVATOME、イタリアのNIRAのコンソーシウムである。またNERSAのRWE分は、SNR-300の建設管理、運転を行う国際電力会コンソーシアムのSBKが肩代りすることになった。

1974年3月NERSAはSuper-Phénixの建設許可を申請した。1975年1月予備安全解析書を提出し、同年7月諮問委員会はこれを承認した。1976年2月原子力施設省国際委員会は本プロジェクトを承認した。NERSAのNOVATOME/NIRAに対するNSSS供給契約は1977年3月発効した。同年4月保健省は本プロジェクトを承認し、同年5月首相は建設を許可した。

## 2) 着工後の現状

1974年12月サイト準備作業が開始され、掘削は1975年10月開始、1976年7月までアクセス道路、給水、配電等の整備を行った。1978年3月よりサイト組立工場での加工が開始された。

着工後の工程は順調で、1980年7月現在でコンクリート打設量は最終量の90%に達し、原子炉建屋は最終高さ86mに達した。1980年5月安全容器、同8月主容器、炉心支持構造、同年12月原子炉蓋(ルーフ・スラブ)が原子炉建屋に吊込まれた。

1981年回転プラグその他も吊込まれ、1次ナトリウム・ポンプもサイトに搬入された。1982年はじめ据付けられる。蒸気発生器は製作中である。2台のタービン発電機のうち1台は据付けが完了した。1,400トンのナトリウムもすでに貯蔵されている。

現在の予定では、1983年ナトリウム注入、1984年臨界、商業運転はナトリウム注入14か月後である。着工時の臨界予定は1982年末であった。臨界が遅れた理由として決定的な因子はないが、強いてあげるとすれば、数か国にまたがって製作が行われたこと、原子炉建屋旋回主クレーンの荷重試験失敗、蒸気発生器溶接検査の強化、地震保護装置変更、中間熱交換器の改造、原子炉容器周辺熱除去回路追加等である。

1982年1月18日ローヌ河対岸から5発の対戦車ロケット弾が打ち込まれたが、EDF公式コミュニケによれば、この狙撃は工事そのものに実質的な影響を与えず、建設計画が遅れることはないとされている。

### 3) プロジェクト・コスト

1980年4月発表のプロジェクト・コストは、80億フラン(3,280億円、1フラン=41円)である。1979年1月発注ベースでのコストは49.1億フラン(2,013億円)で、80億フランは、完成時までの支払いベースで、金利、その他の支出を含む額である。49.1億フランの内訳は次の通りである。

原子炉関係	3,000	(100万フラン)
タービン発電機	272	
土木建築	223	
その他及び予備費	1,415	
	<hr/>	
	4,910	

以上のほか核燃料については第1次装荷分は6億2,500万フラン、第1次および第2次取替分が3億7,500万フランと見積られている。

1982年1月 NERSA 社長 Boris Saitcevsy の発表によれば、108億フランである。これには建設中利子、初装荷燃料を含まない。

### 4) 資金分担

既に述べたように、フランスEDF51%、イタリーENEL33%、西ドイツ(オ

ランダ、ベルギーを含む)SBK16%の割合で各国電力会社が負担する。

フランスは、フランス分担分の軽水炉建設費相当額をEDFが負担し、これを超える分は政府が負担する。西ドイツは、西ドイツ分担分の軽水炉建設費相当分を電力会社が負担し、これを超える分は政府と電力会社で折半する。イタリーについては不明。

#### 5) 経済性比較

1980年4月発表のフランスにおける軽水炉等との建設費、発電コストの比較は下記の通りである。

##### (i) 建設費(1フラン=41円, 56年5月末レート)

1,200 MW	Super-Phénix	80億フラン(6,667フラン/kW,	27.3万円/kW)
1,200 MW	PWR	37億フラン(3,083フラン/kW,	12.6万円/kW)

##### (ii) 発電コスト

Super-Phénix	24.3	サンチーム/kWh	(9円96銭/kWh)
PWR	11.81		(4円84銭/kWh)
石油火力	20.44		(8円38銭/kWh)
石炭火力	17.94		(7円35銭/kWh)

すなわち、1980年4月発表時点でSuper-PhénixのkW当り建設費および発電コストはともにフランス商用PWRの2倍強であるが、発電コストについて見れば、石油火力にほぼ比肩できる程度と云うことができる。

#### 6) 製作分担

コンポーネント製作は、フランス、イタリー、西ドイツ(ベルギー、オランダを含む)で行われ、その金額比率はSuper-Phénixに対する出資比率(フランス51%、イタリー33%、西ドイツ16%)に応じたものとなるよう配慮される。主要分担は次の通りである。

### Principal contractors for Creys-Malville nuclear power station

Nuclear steam supply system	Contractor	Country
Turnkey contract for NSSS	Novatome-Nira	France, Italy
Main vessel, safety vessel, roof slab, plugs, inner structures, core support structures	Neyrpic-Nira/Breda/ATB/Cimi	France, Italy
Control rod drives	Novatome-Neyrpic-Nira/Fiat Creusot Loire Nira/Belleli	France, Italy France Italy
Top dome		
Primary sodium heat transfer system:		
Primary pumps	Jeumont Schneider	France
Motor generator sets for primary pumps	Nira/Ansaldo	Italy
Intermediate heat exchangers	Nira/Breda/Tosi-Stein Industrie	Italy, France
Secondary sodium heat transfer system:		
Secondary pumps	Jeumont Schneider-Nira/Fiat	France, Italy
Motor generator sets for secondary pumps	Siemens	West Germany
Steam generators	Creusot Loire	France
Secondary sodium piping	Stein Industrie	France
Fuel handling system:		
Fuel storage drum	Interatom-Nira/Fochi-Novatome	West Germany, Italy, France
Fuel transfer mechanisms	Novatome-Neyrpic-Nira/CMI	France, Italy
Washdown and decontamination unit	Interatom-Novatome	West Germany, France
Special casks for components handling	ACB	France
Protection System	Siemens CGE Alsthom	West Germany France
Fuel	CEA-Cogema/Agip Nucleare CEA-Cogema/SICN	France, Italy

Note: Hyphen indicates a joint venture  
Oblique stroke indicates sub-contractor of previous company

<b>Balance of plant</b>	<b>Contractor</b>	<b>Country</b>
Civil and hydraulic works	Fougerolle- Condotte d'Acqua- Philipp Holzmann	France, Italy, West Germany
Turbine-generator sets	Ansaldo	Italy
Condensers and preheaters	Alsthom Atlantique FBM	France Italy
Feed water turbine-driven pumps	Sulzer Weise- Franco Tosi	West Germany Italy
Feed water motor driven pumps	Sulzer Weise	West Germany
Circulating water pumps	Bergeron	France
Auxiliary river water pumps	Rateau Muisen	Belgium
Extraction pumps	Termomeccanica	Italy
Water treatment system	Castagnetti	Italy
H.P. piping	Nordon-Mannesmann	France, West Germany
L.P. piping	Fochi	Italy
Heating ventilating and air conditioning	DSD-AER Impianti	West Germany, Italy
Reactor building polar crane, turbine building crane	Magrini Galileo	Italy
Main transformers	ACEC	Belgium
Auxiliary supply transformers Unit transformers Switchboards	IEL Marelli Magrini-Adda	Italy Italy
Power and motor control centres	CEI	Italy
Solid state relays system	Siemens	West Germany
Special lifting equipment	Losinger	Switzerland

Novatome = Super - Phénix 以降の FBR エンジニアリング会社 (仏)

Framatome 85%

Alsthom - Atlantique 15%

N I R A = Nucleare Italiana Reattori Avanzati SpA

新型炉 (HWR, FBR) のエンジニアリング会社 (伊)

1972年11月設立

Finmeccanica 65%

ENI 25%

Francs Tosi 10%

COGEMA = Compagnie Generale des Matieres

Nucleaires 核燃料会社 (仏)

1976年1月設立 CEA 100% 出資会社

AGIP = AGIP Nucleare S. A. 核燃料会社 (伊)

Ansaldo =

Alsthom - Atlantique = Société Général de Constructions

Electriques et Mechaniques Alsthom

重電機メーカー (仏)

Francs Tosi = Francs Tosi SpA 重電機メーカー (伊)

A C E C = Ateliers de Construction Electriques de Charleroi

(ベルギー)

重電機メーカー, 1975年WHとPWHとPWRで技術提携

しWHは69.8%株式取得

## (2) Super - Phénix - 2 以降の計画

### 1) Mitterrand 政権の原子力政策

1981年5月Mitterrand 大統領就任時のエネルギー基本政策は、「現在建設中あるいは運転中のものを除く新規原発建設について国民的協議のうえ、国民投票に付す」となっており、Super-Phénix-1 (Creys-Marville 発電所、以下 SPX-1) は建設中のカテゴリーに加えられ、建設は継続されることになった。1981年7月の暫定的原子力政策で建設継続は承認された。

1981年10月6、7日フランス国民議会は、政府の提出したエネルギー政策を討議し、10月8日331対67で政府原案を信任した。内容はすでに発表されているように、前政権のエネルギー需要想定(1990年)を242 Mtoe (GNP 5.5%) から232 Mtoe (GNP 5%) に下方修正し、原子力一般については開発規模(1990年)を73 Mtoe から60～66 Mtoe に縮少し、1982-83年着工規模を9基1,130万kWから6基740万kWに縮少し、La Hague 再処理工事継続を認めるものであった。高速増殖炉については、SPX-1を完成させ、その後の商業化はSPX-1の運転実績などを考慮し、決定することになった。

### 2) Giscard d'Estaing 政権の高速炉政策

石油危機を一つの契機としてGiscard d'Estaing 政権はエネルギー自立を重視し、PWRの国産化、大量導入に成功した。増殖炉にも積極的で、Giscard d'Estaing 大統領自身ラジオ放送を通じて増殖炉の必要性を国民に説くほどであった。

### 3) 2000年までの高速増殖計画

SPX-2以降の建設主体はNERSAではなくEDFである。EDFは1985年より2×1,500 MWe 炉を1年半おきに6基建設する予定であった。また2000年には高速増殖炉の発電設備容量は10～15 GW とする計画であった。またこれを支えるのに必要な再処理工場、燃料加工工場の建設も計画されていた。

### 4) SPX-2 (前政権時の状況)

SPX-2は、前節で述べた通り、これまで通りの計画で進めば、1985年着工となる。EDFはSPX-2に対して経済性の重視を要求しており、NOVATOMEはこの線に沿ってSPX-1設計の合理化作業を進めている。すなわち寸法を大きくしないでユニット容量を1,500 MWeとすること、ルーフ・スラブの重量削減、ドームの省略、

燃料交換器の並用などをはかるほか、自然循環補助冷却系の追加など最近の要求に合わせて設計を行っている。

1980年はじめNovatomeは、SPX-2の新しい設計では発電コストは16.35サンチーム/kWh(6円70銭/kWh)となるとEDFに説明した。(SPX-1の発電コストは24.3サンチーム/kWh, PWR 11.81サンチーム/kWhである。前5)(ii)節参照)しかしこの中間報告はEDFを満足するに到らなかったと伝えられている。

SPX-2のサイトは、Phénix および再処理施設などのあるMarcoule の北隣りのSaint-Etienne-des-Sortsが有力な候補である。これはMarcouleの現在施設により総合増殖炉コンプレックスが形成されるのがその理由である。

#### 5) SPX-2 (現政権下の状況)

最近(1982年1月)の情報によれば、SPX-2および商業炉に対する状況は次の通りである。

高速増殖炉の長期的な目標は、PWRと同じ(発電)コストとすることであり、ウラン不足を考慮した長期保険政策に立脚すれば、PWRより20-30%高い程度であれば、妥当な保険掛金として認め得るとEDFは考えている。一方ウラン市場が軟化しているため、増殖炉開発が数年遅れる因子になっている。

現時点の技術でも、PWRの50%高で建設される目途はついている。1,200MW SPX-1と同じ寸法で1,500MWとすることができ、これによりSPX-1のコストは20%節約される。このほかドームの省略による原子炉建屋の縮小、原子炉容器材質変更、現在の別置型燃料貯蔵ドラムを主容器内に変更、原子炉建屋内機器配置変更による主2次回路配管長さの50%短縮、原子炉建屋を円筒型から直方体型に変更等でさらに20%削減が可能となる。これらの変更はEDFで検討中である。

EDFとOEAは2-3年で商業炉の設計をまとめることは可能としており、SPX-1が6-12か月運転された1985年に報告書を政府に提出する予定である。

実証炉建設の最終決定権は政府にあるが、安全審査を担当する工業省原子力施設安全性本部(SCSIN)はすでに以上に述べたような設計変更を評価しており、これまでのところ原則的には反対を表明していない。

最初の多ユニット増殖炉(1,500MWユニット2基、もしくは4基)はMarcoule



近くに建設されることになることをOEAもEDFも認めている。Marcouleには250 MW Phénix，再処理工場があること，再処理工場は高速炉燃料用に転換されること，地域の人々が増殖炉，再処理になれていること，増殖炉と再処理加工施設を同一サイトに置くことによる核拡散リスク，プルトニウム輸送を限定することができることなどがその理由である。

#### 6) 再処理計画

Rapsodie, Phénixの使用済燃料はLa Hagueの現在閉鎖されたパイロット・プラント(AT1, 1 kg/日)および黒鉛ガス炉使用済燃料と混ぜてUP2で再処理されるか，Marcouleの10～20 kg/日パイロット・プラント(SAP)で再処理されてきた。AT1は，1969年運開し，これまでRapsodieおよびRapsodie-Fortissimo燃料(40,000～120,000 MWD/t)約1トン进行处理した。また実験規模でPhénix燃料180 kg进行处理し，1979年閉鎖された。SAP(Service des Ateliers Pilotes de Marcoule)は，1960年準産業規模での再処理施設として建設され，酸化物燃料処理のために機械処理ユニット，溶解ユニット等を追加し，1974年より1981年3月までに混合酸化物燃料7トン(主としてPhénix燃料)进行处理した。黒鉛ガス炉使用済燃料で希釈されて処理したPhénix燃料は2.1トンである。

SAPの容量を拡大し，さらに高燃焼度燃料を取扱えるようにするため，SAPを改造，ヘッド・エンド付加等を行う計画が進んでおり，1984年運開の予定である。これはTOR(Traitement d'Oxydes Rapides)と呼ばれ，容量5トン/年である。TORは主としてPhénix燃料进行处理するが，KNK-II, SNR-300燃料処理も計画されており，さらにSPX-1の燃料処理も行う計画がある。

しかしTORに続く大型プラントがすぐ必要になるとしてPURR(Prototype d'Usine de Retraitment Rapides - 高速炉再処理原型プラント)が計画中である。SPX-2, 1985年着工とすると，PURRは1984年発注，1990年代はじめ運開となる。PURRではSPX-1を含めて1,800 MWまでの高速炉5基の燃料，およびSNR-300の燃料进行处理する計画である。現在の状況ではこれらの処理量からみるとPURRの容量は最大150トン/年となる。燃料にもよるがプルトニウム生産量は12～18トン/年となる。サイトは未定であるが，SPX-2が建設される予定のSaint-Etienne-des-Sortsが有力である。

7) 燃料加工計画

現在、CEA Cadarache で 20 t/年の工場が運転中で、COGEMA は高速炉計画に合わせて大型加工施設を計画中であるが、現在具体的な計画は発表されていない。

8) 経済性

1981年11月ロンドンで開かれた高速炉燃料サイクルに関する国際会議で発表されたSPX-1、それ以降の炉の建設費および発電コストの予想は次の通りである。但しPWRに対する比で示される。

	SPX-1	第 1 号 2×1,500MW	第 2 号 2×1,500MW	第 3 号 2×1,500MW
建設費	2.1	1.44	1.31	1.26
運転費	1.69	1.37	1.12	1.12
燃料サイクル費	1.79	1.20	1.00	0.9
発電コスト	2.02	1.36	1.19	1.13

燃料サイクル費のパーセントで示した内訳は次の通りである。

	PWR 1,300MW	SPX-1	第 1 号 2×1,500MW	第 3 号 2×1,500MW
材料費	67	10	14	20
加工費	11	27	24	28
再処理費	22	63	62	52

即ち燃料サイクル費の経済性の観点からは、加工費、再処理費の低減が必要であることがわかる。

(3) 独仏高速炉協定

Super-Phénix-1の建設を1つの契機として、1974年フランスとイタリアは3つの協力協定を結んだ。第1はフランスCEAとイタリアCNEN(原子力委員会)のFBRノウハウの交換協定、第2はフランス産業界がイタリア産業界にFBR技術を供与する協定、第3の協定はSuper-Phénix-1建設コンソーシアの設立に関するものである。

1976年2月フランスValery Giscard d'Estaing 大統領と西ドイツHelmut Schmit 首相は、高速炉および高温ガス炉について概念研究、技術企画、R & D、炉の利用、コンポーネント製造、全燃料サイクルの分野で協力することを決めた。

1976年5月仏独高速炉協定が結ばれた。協定は3部よりなり、第1部は、高速炉のR & Dにおける協力、第2部は製造ライセンスを販売する新会社の設立、第3部は両国のこれまでの技術を織り込んだ標準型をつくる目的で産業界の機関を設立することを規定している。本協定により新会社に対する出資比率、ライセンス収入の配分などの基本が合意された。

1977年6月、これまでの1976年2月および5月の協定に基き、ヨーロッパの高速炉商業化に関する仏独協定が結ばれた。協定履行のため、SERENA ( Société Européenne pour la Promotion des Systèmes de Reacteurs Rapides Sodium ) が設立される。SERENAは仏独両国のノウハウをプールし、NovatomeおよびINBを含めた全顧客とのライセンス交渉を行い。ライセンス料の集金、分配を行う。SERENAの西ドイツ側持株比率は当初35%で、株主はKVG ( Kenntnisverwertungs Gesellschaft Schnelle Brutreactoren ) である。KVGの出資比率はINTERATOM 51%、KfK 19%、Belgonucleaire 15%、Neratom 15%である。SERENAのフランス側持株比率は65%で、株主はSYFRAである。SYFRAはCEA 60%、Novatome 40%で構成される。65対35の出資比率は、西ドイツ側が7基のFBRを建設を完了したときに51対49に改められる。この時点よりSERENAに払い込まれた全ライセンス料は仏独で50対50で配分される。この時点まで西ドイツは3基のFBRを建設するまでNovatomeの受注によりライセンス料の配分を受けられない。

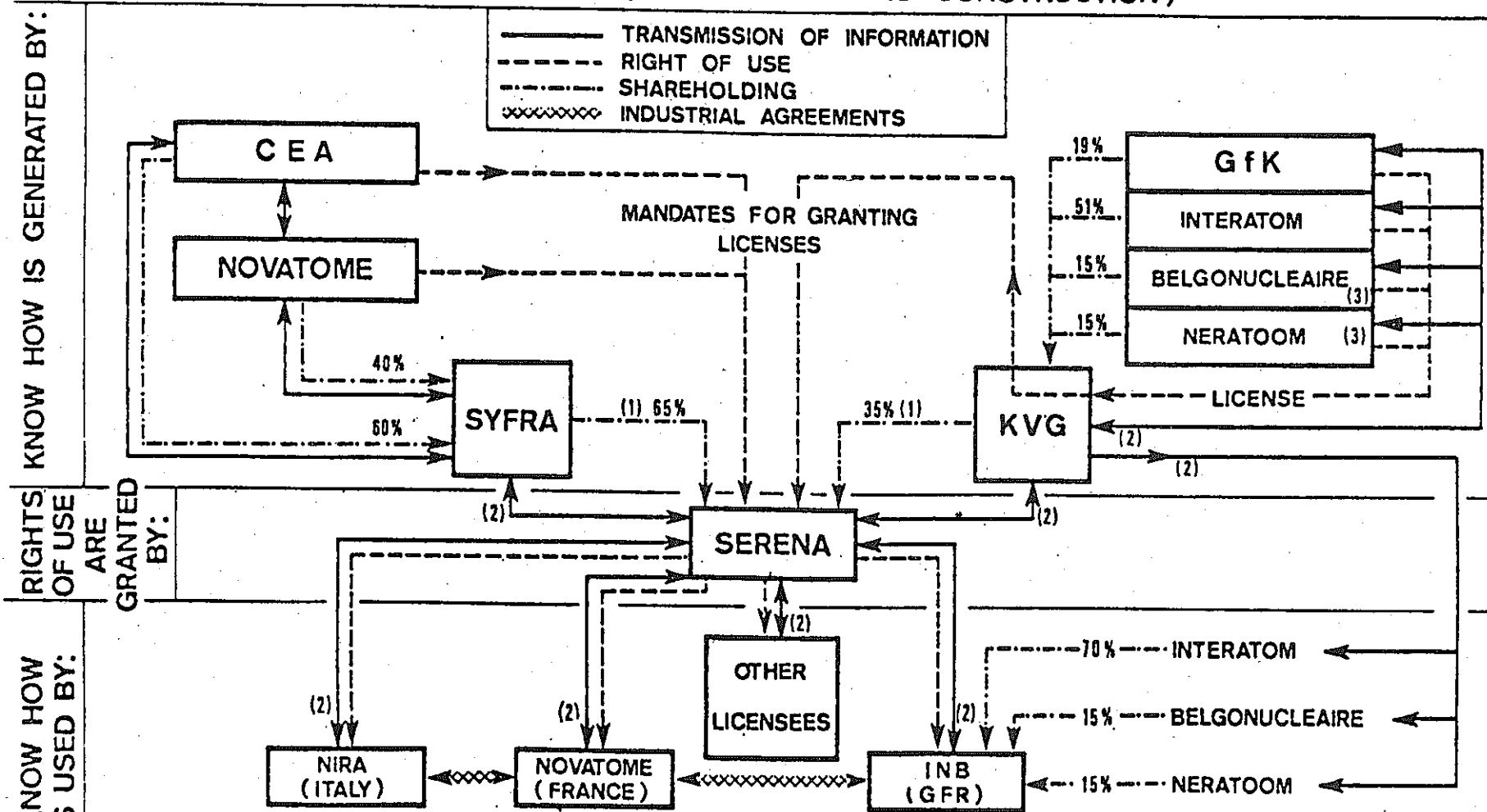
仏独両国は単独でFBRを輸出することは法的、技術的に可能であるが、共同で輸出するというのが協定の目的である。イタリーは間接的に参加する。イギリスとも交渉があったが、イギリス側の意志で協定に参加しなかった。

1977年6月の協定には、西ドイツ側でINTERATOM、KfK、フランス側でCEAを当事者とするR & D協力協定がある。これまで開発された技術、共同で開発される技術、将来単独で開発される技術はすべてSERENAに集中される。

1977年6月の協定を図示したのが次の2図である。

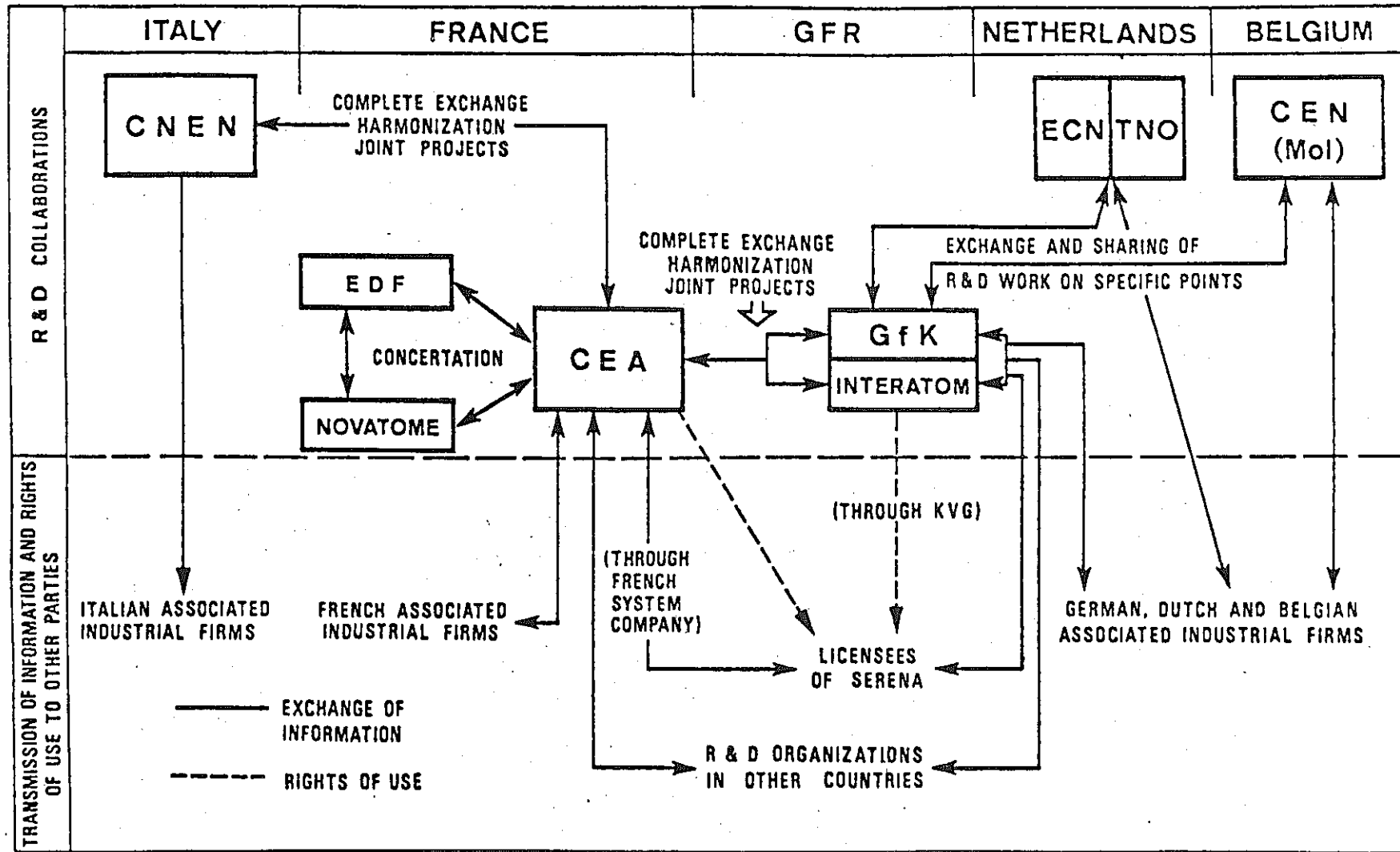
# INDUSTRIAL AND COMMERCIAL EXPLOITATION OF ALL KNOW HOW

( R AND D , DESIGN , ENGINEERING AND CONSTRUCTION )



1. WOULD BECOME LATER 51% SYFRA 49% KVG
2. THEORETICAL. IN FACT DIRECT EXCHANGE WITH LICENSEES OF SERENA WILL BE USED
3. INCLUDING ASSOCIATED RESEARCH CENTERS (CEN, ECN, TNO)

# R and D



## Ⅳ イギリス

### (1) 経過と開発体制

イギリスにおいてPFRに続く大型炉の計画が具体化してくるのは1970年頃からである。当時PFRに続く最初の大型炉はCFR-1(Commercial Fast Reactor-1)、2号炉以降はCFR-2, CFR-3……と呼ばれた。現在はCFR-1はCDFR(Commercial Demonstration Fast Reactor)と呼ばれている。当時の計画では1974年着工であった。

1971年UKAEAは、CEGBが後日設計を発注できることを念頭においてPFRの技術をベースとした設計研究をTNPGに発注した。CFR-1の着工は、諸般の情勢から遅れたが、現在も設計は行われている。UKAEAがエネルギー省の代理としてTNPGに発注した。エンジニアリング会社はその後再編されてNPC(Nuclear Power Co.)、最近はNNC(National Nuclear Corp.)になった。

現在の計画では、CDFRの公聴会1984年、着工1985年(もしくはそれ以降)である。しかしイギリスの原子力政策の当面の関心事はAGRの発注、PWRの試験的導入であり、電力需要、ウラン需給からみてイギリスで商用炉が発注されるようになるのは2000年頃よりと予想されている。

CDFRの設計評価、基礎R&Dを行っているのはUKAEAである。RisleyではSodium Component Test Rig, High Temperature Sodium Loopなどが稼働している。

### (2) CDFR

NNCは、1981年9月CDFRの参考見積りおよび見積仕様書(書類厚さ1フィート)をCEGBに提出した。CEGBは検討に約6か月を必要とする。

CDFRの設計は、「コンパクトCDFR」もしくは「CDFR-81」と呼ばれ、UKAEA動力炉開発グループおよびNNC新型炉グループの協力によりとりまとめられた。

コンパクトCDFRは熱出力3,300MW, 電気出力1,318MW, タンク型である。原子炉容器はSuper-Phénix(3,000MWt, 1,240MWe)より2m直径が短く、直径19.2mである。1次系ナトリウム量は以前の設計およびSuper-Phénixより500トン少ない3,000トンである。直管型IHX, 貫流型蒸気サイクル, S/Gは9Cr-1Mo鋼

である。

コンパクト C D F R の建設費は、1980年発注された1,320 MW A G R Heysham  
- 2 発電所の21.5%高である。Heysham - 2 発電所は、1980年3月発注時点で  
£ 1.27 bn. , 1981年3月コストは£ 1.43 bn. と発表されている。これは何れも初  
装荷燃料を含んだ値である。これによれば C D F R の建設費は、初装荷燃料を含んで19  
80年3月コスト£ 1.54 bn. (約6,496億円, 発電端約49.3万円/kW), 1981  
年3月コスト£ 1.74 bn. (約7,315億円, 発電端約55.5万円/kW) となる。A G R  
より21.5%高とする建設費のなかには、Dounreayへの輸送費£ 25 m., コンポーネン  
ト開発費£ 100 m.が含まれている。

**TABLE 1**  
**Main parameters for CDFR**

<b>Gross electrical output</b>	<b>1320 MW</b>
<b>Gross thermal output</b>	<b>3300 MW</b>
<b>Mixed mean core outlet temperature</b>	<b>540°C</b>
<b>Core inlet temperature</b>	<b>370°C</b>
<b>Nominal peak clad temperature</b>	<b>670°C</b>
<b>Fuel rating</b>	<b>40 W/mm</b>
<b>Active fuel length</b>	<b>1 m</b>
<b>Maximum SA power</b>	<b>11 MW</b>
<b>Number of control rods</b>	<b>18</b>
<b>Number of primary shut-off rods</b>	<b>6</b>
<b>Number of alternative shut-off rods</b>	<b>6</b>
<b>Number of intermediate heat exchangers</b>	<b>8</b>
<b>Number of secondary circuits</b>	<b>4</b>
<b>Primary pumps</b>	<b>4 x 3860 kg/sec</b>
<b>Secondary pumps</b>	<b>4 x 3770 kg/sec</b>
<b>Steam generator sodium inlet temperature</b>	<b>510°C</b>
<b>Steam generator sodium outlet temperature</b>	<b>335°C</b>
<b>Steam generator steam outlet temperature</b>	<b>490°C</b>
<b>Steam generator steam outlet pressure</b>	<b>17 MPa (170 Bar)</b>
<b>Turbine generator</b>	<b>2 x 660 MW</b>





### (3) 国際協力

イギリスではCDFRを1国で開発、建設することは負担が大きいとしてフランス、アメリカなどと交渉を行っている。

1979年FBRに積極的なMargaret Thatcher首相は、UKAEA John Hill 総裁にヨーロッパ、もしくはアメリカとの協力の可能性について検討するよう指示した。1980年9月のHill 総裁の発表によれば、イギリスのエネルギー相とフランスの工業相の話し合いが行われたが、フランスの要求する頭金は5,000万ポンド(約235億円)で、これはイギリスの高速炉開発費の約1年分に相当する。またこの金額はSuper-Phénix 建設費フランス政府分担分の1/10に相当する。イギリス議会がこれに好意を示すとは考えられていない。

さらにフランスは、フランスが1985年に着工を計画している6基の1,500 MW SPX-2の開発、建設へのイギリスの全面的な参加を求め、および7番目の炉をイギリス内に独自に建設する権利を認めている。これらの条件のため、フランスとイギリスの交渉は中断されている。

イギリスとアメリカとの1980年の交渉については第Ⅱ章アメリカ (3)国際協力の項で述べた。1981年UKAEAの総裁がWalter Marshall になり、Marshall はアメリカとの協力の好意的であるとされ、またアメリカもReagan 政権が増殖炉について積極的であることから、1981年2月アメリカEPR IのChauncey Starr の音頭により、アメリカ側からはDOE、EEIの幹部が出席してMarshall 総裁らと話し合いを持った。

1981年4月にもMarshall 総裁はニュー・オルリーズでアメリカ産業界と話し合いを行った。

1980年4月NPC社長N. L. Franklin は日本を訪問し、関係機関と意見交換を行い、最近その報告書をイギリス政府に提出した。

アメリカのWH社は、NPCと実証炉設計について情報交換を行い、NPCのCDFRの設計にはWH社の設計が1部織り込まれていると述べた。

GE社ともNPC社は情報交換を行った。これは第Ⅱ章(3)「アメリカの国際協力」で既に述べた。

1981年4月アメリカのアーキテクト・エンジニアStone & Webster Engineer-

ing Co. は、C D F R のエンジニアリングおよび設計役務を N N C に提供する契約を結んだ。

イギリスの Z E B R A 炉を利用して行ったイギリス、西ドイツ、ベルギー共同の 1,200 MW 非均質模擬炉心炉物理実験は 1980 年に終了した。

1981 年 9 月フランスの Mitterrand 大統領はロンドンを訪問して Thatcher 首相と英仏関係、E C 問題、東西問題について話し合いを行ったが、席上両国は原子力研究、特に F B R について話し合いを再開することで合意した。しかしその後の進展について報道されていない。

#### (4) 再 処 理

U K A E A は、Dounreay に 350 万ポンド（約 16 億 4,000 万円）で 1 トン／年高速炉燃料再処理プラントを建設し、1979 年 9 月コミッショニングを開始した。

1980 年中 1.25 トン（最高燃焼度 6.5% heavy atom）の燃料を再処理した。抽出されたプルトニウム約 200 kg は海路 Windscale 混合酸化物燃料加工工場に輸送され、P F R 燃料に加工中である。

## V 西ドイツ(ベルギー、オランダ含む)

### (1) 経過と開発体制

西ドイツの増殖炉開発の当面の問題は300MW原型炉SNR-300の建設である。建設中止を求める訴訟、建設途中での規制当局の新しい要求などのためにSNR-300の建設は遅れている。1980年6月付第3次部分建設許可により1980年11月ガード・ベッセルが吊り込まれた。最新の部分建設許可は、1981年10月15日付第4次部分建設許可で、熱除去系、燃料取扱系などがその対象である。炉心関係などの据付けには最後の第5次部分建設許可が必要である。臨界は1985年もしくは1986年(1986年の方が有力)とされている。

プロジェクト・コストは建設遅延、許認可当局の要求による設計変更などにより、1973年着工時の16億9,800万マルク(約1,664億円)から1982年54億700万マルク(予定、約5,245億円)に上昇している。54億700万マルクは、将来のコスト上昇を考慮しない値で、これを含めると70億マルクになるとされている。この分担をめぐって、西ドイツ連邦研究技術省(BMFT)は、西ドイツの電力会社に対して11億マルクの追加出資を希望し、これまで1億8,300万マルクを残して電力会社の同意を得た。BMFTの暫定予算によりSNR-300は1982年9月まで運営可能となった。

1978年12月西ドイツ連邦議会は、SNR-300の建設継続(運転は含まない)を認め、必要な調査活動を続けることを決めた。SNR-300の運転は、その時点で議会在が決定する。1979年3月西ドイツ連邦議会は、「将来のエネルギー政策」に関する実情調査委員会を設置した。1980年6月同委員会は最終報告書を発表し、原子力の選択は拒まないが、エネルギー節約、石炭、新エネルギーの開発に優先権を与えるべきこと、原子力に対する最終決定は1990年まで棚上げすることを勧告した。高速増殖炉に関しては、SNR-300の建設は継続するが、運転は当分棚上げすることを9対6で採択した。1978年12月の決定と実質的に同じである。6名の反対者は増殖炉路線をとるかどうかの判断には、SNR-300の運転が必要と主張した。現在議会は、1982年秋SNR-300の運転を認めるかどうか決定する予定であるが、これが電力会社がSNR-300に追加出資することをしりごみさせる理由の1つになっており、議会在が運転を認めることを出資の1つの条件としている。

SNR-2は、第Ⅲ章フランスの章で述べたように1971年5、7月のヨーロッパ電

力会社協定、および1977年6月に集大成された仏独高速炉協定の枠組みのなかで建設される。RWE, EDF, ENELは、1974年10月SNR-2の建設管理、運転を行う会社ESK (Europaenische Schnellbrueter Kernkraftwerkgesellschaft mbH) を設立した。1975年5月RWEの持株分はSNR-300の建設管理、運転会社SBK (西ドイツ68.85%, ベルギー14.75%, オランダ14.75%, イギリス1.65%) に移管された。SNR-2の研究開発、設計の体制はSNR-300の場合とほぼ同じである。

## (2) 着工時期

これまでSNR-2の着工は、電力側はSNR-300の運転1年後とし、メーカー側はSNR-300の運転を待たずに着工を希望した。最初に述べたようにSNR-300の建設が遅延しており、西ドイツ連邦議会がSNR-300の建設完了までしか公認していないため、SNR-2の建設は具体化していない。

1981年11月RWEは、SNR-2の研究を再開すると発表した。西ドイツINBおよびフランスのNovatomeは1977年共同概念設計を開始した。1983年完成の予定である。フランス筋によれば、これはフランスの設計を西ドイツの安全基準に合わせることを意味し、SNR-2はプール型になるのが有力と述べている。これ以上にSNR-2がプール型になるとする報告はない。これまではSNR-300の設計を発展させたループ型と発表されている。

## (3) ユニット容量

プロジェクトの開始時点では、FBR商業化の時期のLWRのユニット容量を勘案し、2,000MWeであったが、技術的なリスク、開発、建設費などを考慮し、1,300MWeとなった。

## (4) 建設費と分担

具体的な建設費はまだ発表されていない。

建設費は1971年ヨーロッパ電力会社協定により西ドイツ(ベルギー、オランダ含む)イタリー、フランスで分担される。西ドイツ政府は、Super-Phénixに対する援助額について、軽水炉建設費相当額までは電力会社、それを上回る分について政府、電力会社で折半することを決めた。SNR-2に対しても同じ考え方をとるものと予想される。

また西ドイツ政府は、SNR-300に対して1億5,000万マルクまでの運転補償を

行うことを決めている。SNR-2に対する運転補償費は未定であるが、SNR-300の例が参考になるとされている。

(5) SNR-2以降の計画

具体的な計画は発表されていない。

## VI ソ 連

### (1) 経 過

ソ連は高速増殖炉開発に非常に熱心であり、自由主義諸国が原子力に対する反対運動、政権の考え方により高速増殖炉開発が停滞傾向を見せているなかで、ソ連には今のところ、そのような傾向はみられない。

ソ連が高速増殖炉開発に熱心なのは、ヨーロッパ・ロシアではエネルギー源があまり豊富でなく、需要が大きいため、高速増殖炉開発は最優先プロジェクトとなっている。

発電・脱塩水製造の2重目的原型炉BN-350(350MWe相当、ループ型)は、1972年11月臨界に達し、1973年蒸気発生器にナトリウム・リークが起こった。その後最近まで約65%出力で安定に運転されてきたが、現在6基の蒸気発生器のうち5基で90%出力で運転されている。

プール型600MW原型炉BN-600は、1980年2月臨界、1980年12月には65%出力に達し、1981年12月全出力に達した。

高速増殖炉早期実用化の観点から、プルトニウム不足を補うため、BN-350、BN-600は濃縮ウランが装荷されている。

### (2) 開発体制

平和利用原子力開発の中心は国家原子力委員会であり、この下に7つの研究所があり、これまで高速増殖炉の開発に重要な役割りを果たしてきたのはオブニンスク物理エネルギー研究所、デミトロポグラード研究所である。実用規模の原子力発電所の設計、建設、運転は発電・電化省の管轄である。

### (3) BN-1600

1970年にはすでに大型炉の設計が行われていることが発表されている。ループ型、プール型、その変形型等について検討が行われ、プール型に落ち着いた模様である。1600MWeのユニット容量は世界最大である。800MWeタービン発電機2台を利用するという観点からユニット容量は選ばれた。高増殖率、倍增時間の短縮をはかった設計とされている。BN-1600の初装荷燃料はプルトニウム燃料である。

### (4) BN-800

BN-1600と並んでBN-800(ユニット容量800MWe)の設計が進められている。BN-800の設計は、基本的にはBN-600と同じであるが、信頼性と安全

性の向上をはかったものとされている。

スイスのバーゼルで1981年10月開かれた Nuclex 81で、従来発表されていたようにBN-600のあと続いてBN-1600が建設されるのではなく、BN-800が1基との間に建設されることが明らかになった。BN-800はBN-600に隣接して建設され、1990年頃運開になる予定とされている。

(5) BN-1600以降の計画

1971年には、2000年頃より高速炉を在来炉の比率を1対1にする計画も発表されたが、最近ではBN-1600以降の具体的な計画は発表されていない。



## (1) 高速増殖炉実証炉主要目

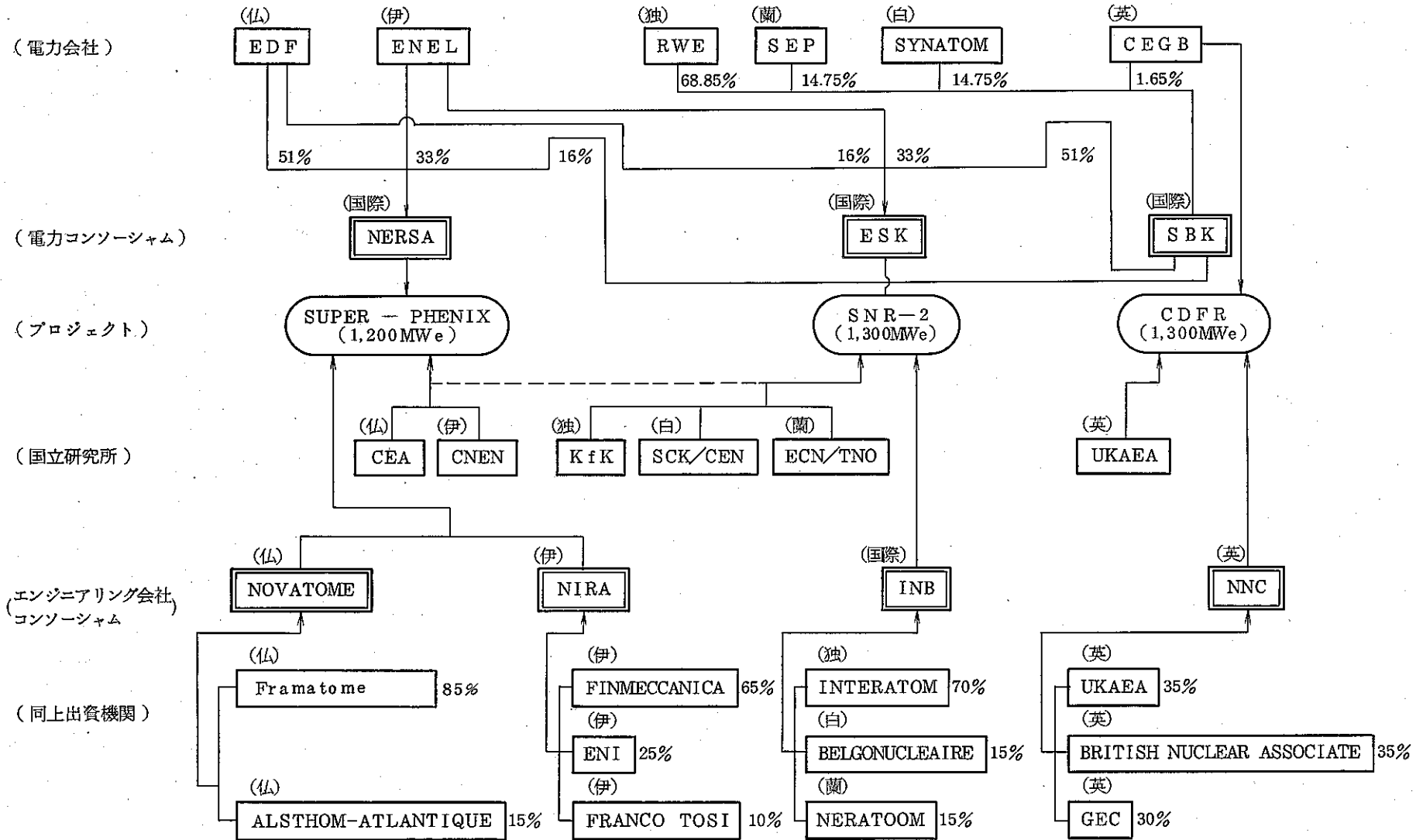
		フランス Super-Phénix	アメリカ CDS	イギリス CDFR	西ドイツ SNR-2	ソ連 BN-1600
電気出力(発電端)	MW	1,240	1,000	1,320	1,300	1,600
“(送電端)	MW	1,200				
熱出力	MW	3,000	2,550	3,300	3,420	4,200
炉構造		プール型	ループ型	プール型	ループ型	プール型
炉心		円柱	円柱(非均質)	円柱	円柱	円柱
等価直径(燃料/ブランケット)	m	3.59/4.59	?/5.59	(2.9/3.8)	4.16/5.08	3.35/?
高さ(燃料/集合体)	m	1.00/5.4	1.02/5.11	(1.0/4.3)	0.95/?	1.0/?
炉心燃料						
ピン外径(燃料/ブランケット)	mm	8.50/15.8	7.0/?	(5.8/13.5)	7.6/11.6	
被覆材		316SS	D9	(316SS)		
被覆材厚	mm	~0.4	0.37		0.5	
ピン配列		三角	三角	(三角)	三角	
燃焼度						
最大	MWD/t	70,000(第1炉心)			80,000	70,000-100,000
平均	“	100,000(以降)	60,000-90,000	(100,000)		50,000-70,000
被覆材最高温度	℃		677	670	650	
制御棒材質		B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	
本数		21	30	30	55	
原子炉出入口温度 出口/入口	℃	545/395	510/354	540/370	540/390	550/350
2次系IHX温度 出口/入口	“	525/345	487/328	510/335	510/340	505/310
ループ数		4	4	4	4	4
1次系ポンプ位置・数量		コールド・レグ×4	ホット・レグ×4	(コールド・レグ)×6	ホット・レグ×4	コールド・レグ×4
IHX 台数		8	4	8	8	
主蒸気 温度	℃	490	452	490	490	490-510
圧力	kg/cm <sup>2</sup>	180	155	173	175	143
給水 温度	℃	235		(230)	250	
蒸気発生器伝熱管型式		ヘリカル型	ヘリカル/直管/2重管	Uチューブ	直管型 or コイル型	
燃料交換系(炉内)		二重回転プラグ直動式 Aフレーム式	三重回転プラグ直動式 燃料移送セル斜道式	(二重回転プラグ斜道式) (燃料移送セル斜道式)	Under the Plug方式 燃料移送セル直道式	二重回転プラグ 燃料移送セル斜道式
燃料交換間隔	月	12	12		12	4~6
増殖率		1.18	1.3	1.25	1.2-1.35	1.3-1.4
倍增時間	年		20年以下	20/30(100%LP)		

注 Super-Phénix, CDFR(カッコ内), SNR-2, BN-1600は1979年3月発表データ  
CDS, CDFR(カッコ外)は1981年3月発表データ

(2) 世界の高速増殖炉原型炉主要目

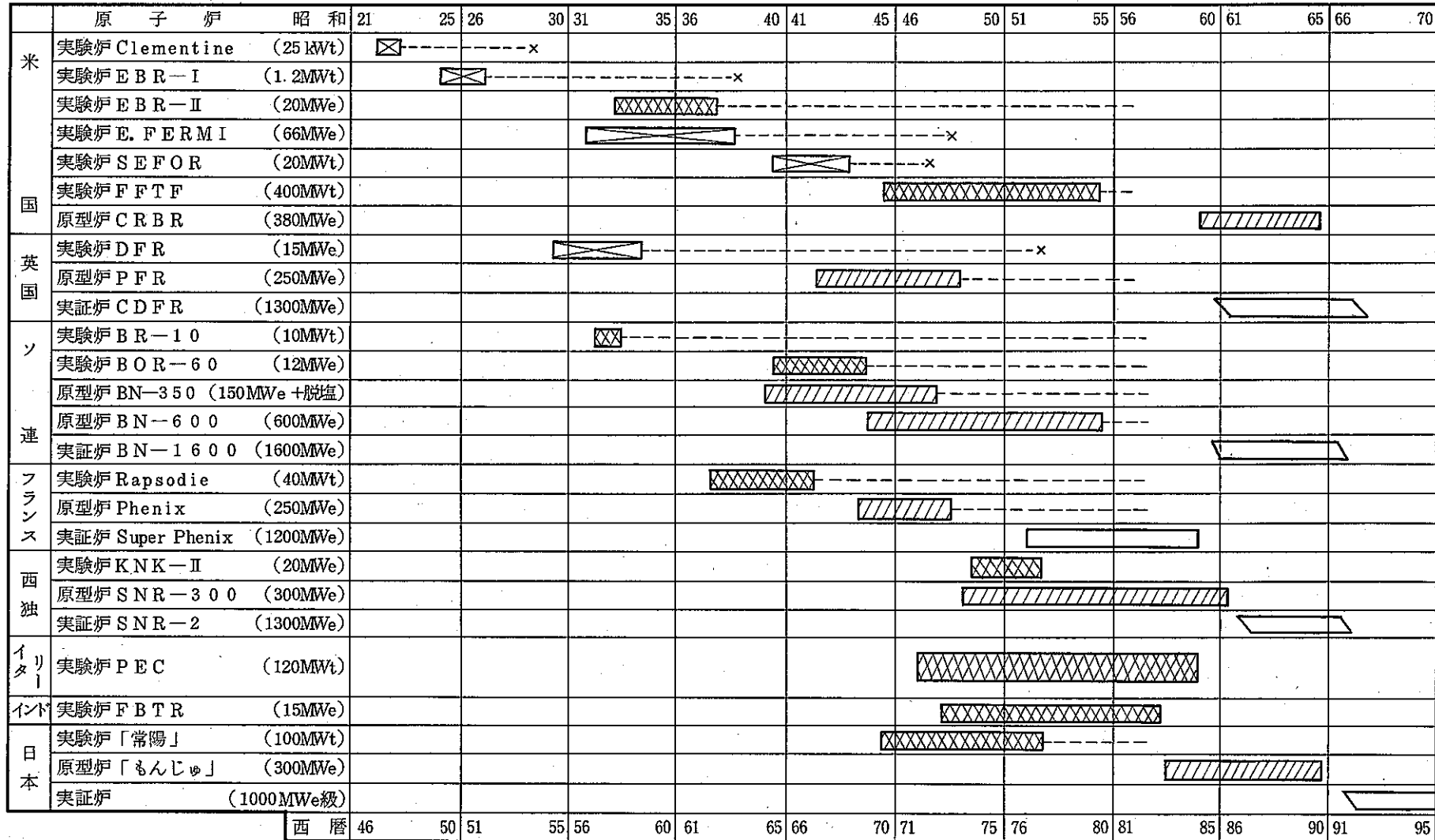
	単 位	米 国 CRBR	英 国 PFR	仏 国 フェニックス	ソ 連 BN-350	ソ 連 BN-600	西 独 SNR-300	日 本 もんじゅ
電 気 出 力	10 <sup>4</sup> kWe	38	25	25	15 (電気) 20 (脱塩)	60	31.2	28
熱 出 力	10 <sup>4</sup> kWt	97.5	60	56.8	100	147	76.2	71.4
炉 構 造		ループ型	タンク型	タンク型	ループ型	タンク型	ループ型	ループ型
炉 心		円 柱	円 柱	円 柱	円 柱	円 柱	円 柱	円 柱
直 径	mm	1882	1470	1390	1580	2060	1780	1788
高 さ	mm	914	914	850	1060	750	950	930
炉 心 燃 料		(Pu,U)O <sub>2</sub>	(Pu,U)O <sub>2</sub>	(Pu,U)O <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	(Pu,U)O <sub>2</sub>	(Pu,U)O <sub>2</sub>	(Pu,U)O <sub>2</sub>
ピ ン 直 径	mm	5.84	5.84	6.6	6.1	6.9	6.1	6.5
被 覆 材		SUS316	SUS316	SUS316	SUS相当	SUS相当	1.4970SS	SUS316
被 覆 材 厚	mm	0.38	0.38	0.45	0.35	0.4	0.38	0.47
ピ ン 配 列		3 角	3 角	3 角	3 角	3 角	3 角	3 角
燃 燒 度 平 均	10MWD/T	初期フイヤー30/50 後期クリッド150/100	—/75	72/40	50/—	100/—	87/57	—/80
被 覆 材 最 高 温 度	℃	657	700	700	680	700	685	675
制 御 棒 材 質		B <sub>4</sub> C	Ta, B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C	B <sub>4</sub> C
本 数	本	19 (1ry <sup>15</sup> 2ry <sup>4</sup> )	11	6 (ベント型)	7	27	12	19 (1ry <sup>13</sup> 2ry <sup>6</sup> )
1 次 系 温 度 入 口	℃	388/535	394/550	385/552	300/500	380/550	377/546	397/529
2 次 系 IHX 温 度 入 口	℃	344/502	356/526	343/543	270/450	320/520	328/521	325/505
ル ー プ 数		3	3	3	6 (内予備1)	3	3	3
1 次 ポンプ 位 置 × 数 量		Hot leg × 3	Cold leg × 3	Cold leg × 3	Cold leg × 6	Cold leg × 3	Hot leg × 3	Cold leg × 3
I H X 台 数		3	6	6	12	9	9	3
主 蒸 気 温 度	℃	462	513	510	435	505	495	483
圧 力	kg/cm <sup>2</sup>	102	130	171	50	145	163	127
給 水 温 度	℃	232	275	246	158	240	252	240
蒸 気 発 生 器		ホッキースティック	Uチューブ3	ヘアピンモジュラ -12	バイオネット型	直管モジュラ型	直管モジュラ 6 ヘリカル 3	ヘリカルコイル貫 流分離型
燃 料 交 換 系		3重回転ブラグ	単回転ブラグ パンタグラフ	単回転ブラグ 固定アーム斜道式	2重回転ブラグ 斜エレベーター	2重回転ブラグ 斜エレベーター	3重回転ブラグ 直動式	単回転ブラグパンタ グラフ固定アーム式
燃 料 交 換 間 隔	月	12	50日	2	2	5	12	6

(3) ヨーロッパ高速増殖炉実証炉開発体制



(4) 世界の高速増殖炉開発スケジュール概況

昭和57年3月現在



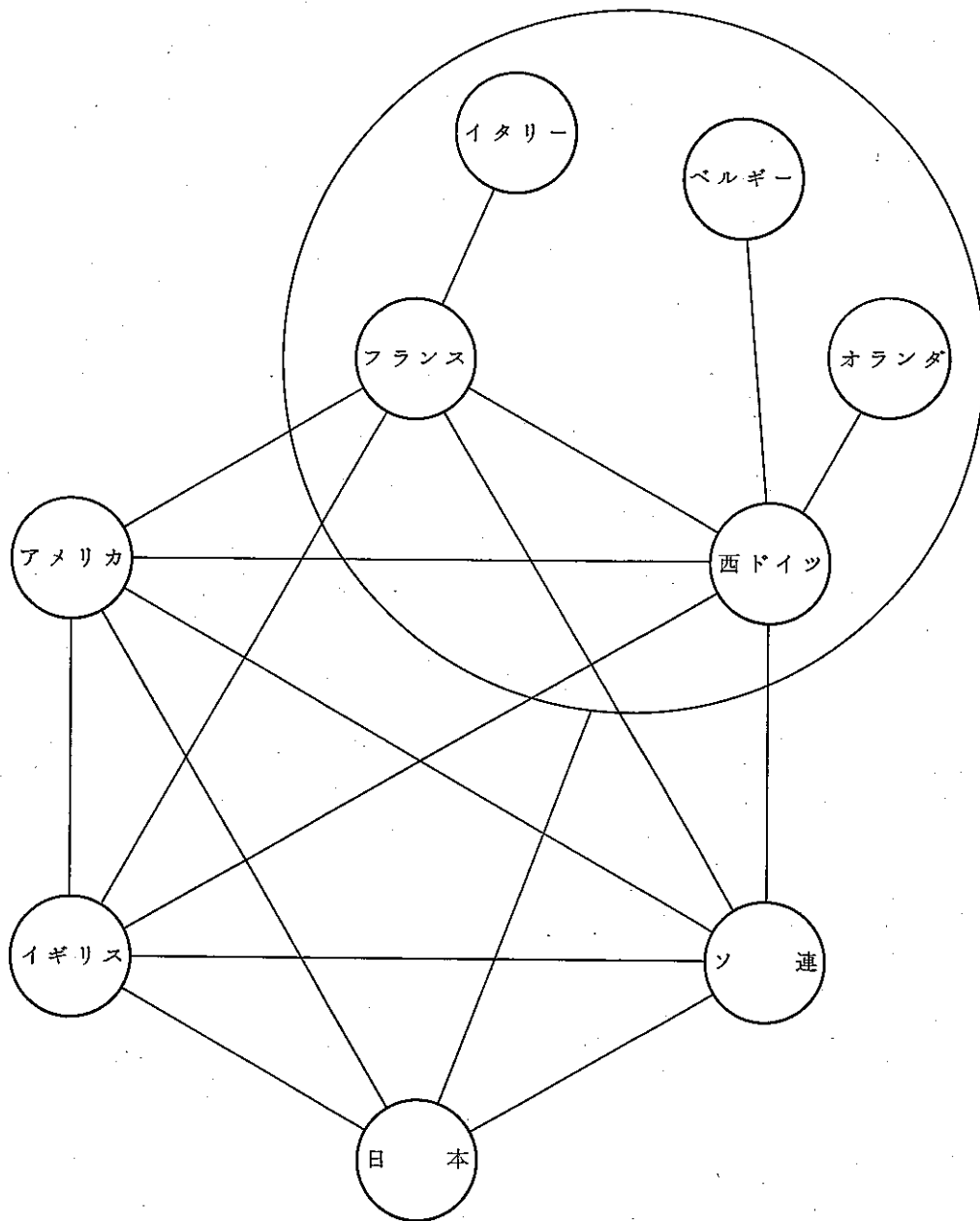
注：棒線は建設開始から初臨界までを示す。 ☒ 実験炉 ▨ 原型炉 ▭ 実証炉 ☒ 閉鎖  
 点線は運転期間を示す。  
 ×印は閉鎖を示す。

(5) 主要国の高速増殖実証炉計画

国名 原子炉名	フランス Super-Phénix	西ドイツ SNR-2	イギリス CDFR	ソ連 BN-1600	アメリカ LDP
出力 (MWe)	1,200	1,300	1,300	1,600	1,600
着工 (年)	1976	1986頃	1986頃	1985頃	未定
臨界 (年)	1983	1992頃	1992頃	1992頃	未定
建設地	Creys-Malville	未定	未定	未定	未定
発注者	NERSA	ESK	未定	未定	未定
出資比率	(仏) EDF 51% (伊) ENEL 33% (独) SBK 16%	(独) SBK 51% (伊) ENEL 33% (仏) EDF 16%			
受注者	(仏) Novatome (伊) NIRAコンソーシアム	INB	NNC	未定	未定
研究開発者	(仏) CEA (伊) CNEN	(独) GfK (蘭) ECN/TNO (白) CEN	UKAEA	国家原子力委員会	DOE
建設費	Fr. 10.8 bn.	未定	£ 1.74 bn.	未定	\$3.1~3.3 bn.
現状 (1982年3月)	建設中	設計中	設計中	設計中	設計中

注) ESK = Europäische Schnell-Brüter-Kernkraftwerkgesellschaft mbH  
 NERSA = Soc. Centrale Nucleaire Europeenne Neutrons Rapides SA  
 NIRA = Nucleare Italiana Reattori Avanzati  
 LDP = Large Developmental Plant  
 CDFR = Commercial Demonstration Fast Reactor

(6) 現行高速増殖炉開発協力体制



国際機関の活動

1. IAEA IWGFR (情報交換, 会議開催等)  
(参加国 アメリカ, イギリス, フランス, 西ドイツ, ソ連, インド, 日本)
2. OECD NEA (炉物理, 安全性等の情報交換, 会議開催等)  
(参加国 加盟国)
3. ユーラトム (安全性, 材料等の研究)  
(参加国 加盟国およびアメリカ, 日本)

(7) 高速増殖炉開発に関する国際協力

1982年3月

	日 本	ア メ リ カ	イ ギ リ ス	フ ラ ン ス	西 ド イ ツ	ソ 連	I A E A	O E C D / N E A	E U R A T O M
日 本		PNC/DOE FBR協力協定 締結：1969 協力分野：炉物理、安全性、 燃料・材料、ナトリウム技 術、機器開発、プラント経 験、燃料サイクル、品質保 証 STA・AEB/NRC FBR 安全性技術情報交換協定 締結：1977	PNC・JAERI/AEA FBR 協力協定 締結：1970 協力分野：炉物理、燃料・材 料、炉設計・運転経験、ナ トリウム施設の運転管理、 安全性	PNC/CEA/KfK・INTERATOM FBR協力協定 締結：1978 協力分野：炉物理、ナトリウム技術、安全性、燃料・材料、 燃料サイクル 仏(CEA)-伊(CNEN) EDF NOVATOME	西独(KfK, INTERATOM) ベルギー(ECN, TNO) オランダ(CEN)	日ソ科学技術協力協定 FBR技術協力の実施：PNC 締結：1973	FBRワーキング・グループ (IWGFR) 設立：1968 日 本 アメリカ イギリス フランス 西ドイツ ソ 連	加盟：23カ国 日本政府加盟：1972 FBRの安全性(CSNI) FBRの炉物理委員会に参加	PNC/NRC/EURATOM FBR安全性研究(サンディ ア) 実施：1980~1984
ア メ リ カ	日米大型炉心臨界実験 (1978~) 日米安全性協力 (1979~) 燃料学動解析コード開発 (1980~1982) 燃料材料照射共同研究 (1981~1983) 燃料健全性試験 (1981~1986)	東芝・日立/GE FBR協力契約 (1971~)	米・英FBR協力協定 締結：1962 1976(新協定) GE/NPC共同研究(1976) Stone & webster EC/NNC 技術協力(1981)	米・仏FBR協力協定 締結：1977(新協定) GE/Technicatome技術交換 協定(1975) Bechtel/Technicatome 技術協力(1974)	米・西独FBR協力協定 締結：1976(新協定)	米・ソ原子力平和利用科学技 術協力協定 締結：1973 FBR技術情報交換、訪問を 含む	同 上		米-ユーラトム共同計画 FBR技術情報交換、訪問、 派遣
イ ギ リ ス	日英MOZART計画 (1971~1973)	米英TREAT安全試験計画 FBR燃料再処理技術情報交 換(1981)		UKAEA/CEA/KfK FBR安全性研究協力協定 締結：1980		英・ソ原子力平和利用科学技 術協力協定 FBR技術情報交換、訪問を 含む	同 上		
フ ラ ン ス	日独仏共同CABRI計画 (1975~)	米、仏、独FBR構造材料情 報交換 (1980~) 米、仏、独FBR安全性情報 交換 (1980~) FBR燃料再処理技術情報交 換(1981)	英、CABRI計画に参加	Super Phenix (仏)CEA, NOVATOME EDF (伊)CNEN, NIRA ENEL	仏独FBR協力協定 締結：1977 CEA/KfK, INTERATOM 研究開発協力協定を含む	仏・ソ原子力平和利用科学技 術協力協定 FBR技術情報交換、訪問を 含む	同 上		
西 ド イ ツ	東芝/KfK安全、計測協力	米独SEFOR計画 (GE/KfK, ユーラトム) 米独仏FBR実験炉運転 経験情報交換(1980~)	BIZET(炉物理実験) 計画(英/独) PFRでの材料試験計画 (英/独)	日独仏共同CABRI計画	SNR-300計画 (独、ベルギー、オランダ) SNR-2計画 (独、ベルギー、オランダ、 仏、伊) 独/スペイン材料共同研究 1978		同 上		
ソ 連	日ソFBR使用経験セミナー (1979) 日ソFBRアクティブゾーン ・モニタリングセミナー (1980) 日ソFBR燃料材料試験方法 セミナー (1982)	FBR技術情報交換、訪問 1960より開始	FBR技術情報交換、訪問	FBR技術情報交換、訪問			同 上		
I A E A	FBR炉物理シンポジウム (1973, 日本) FBR燃料被覆専門家会議 (1979, 日本) ナトリウム系用ペローズ専門 家会議 (1979, 日本)								
O E C D / A	燃料・ナトリウム専門家会議 (1976, 日本) 炉物理委員会 (1978, 日本)								
E U R A T O M	PNC/ユーラトム共同材料 衝撃実験 (1980~1984) (於イスラ)	ユーラトム諸国へのFBR実 験用EU, Pu燃料供給							