

講演メモ

FBRs : Why, When, How

フランス 原子力庁 原子炉局
バートランド バレ局長

FBRs : Why, When, How

高速増殖炉:何故、何時、如何に

A Presentation before the FBR Special Committee

高速増殖炉懇談会での発表

by Bertrand BARRÉ

バートランド・バレ

Director, Nuclear Reactors Directorate, CEA, France

フランス原子力庁原子炉局長

President, French Nuclear Energy Society (SFEN)

フランス原子力学会会長

Vice-President, European Nuclear Society

欧州原子力学会副会長

Co-Chairman, EJCC on FBR R&D

日欧高速炉研究開発運営委員会共同議長

Co-Chairman, RFCC on FBR R&D

露仏高速炉研究開発運営委員会共同議長



Japan FBR Special Committee 8/5/97



A Tale of Two Countries (1)

日-仏の概要(1)

	FRANCE	JAPAN
Area (km²) 面積(km ²)	552 000	378 000
Population (M ha) 人口(百万人)	58	125
GNP (\$/cap) 国民総生産(\$/人)	23 000	37 000
Energy Consumption (Mtoe) エネルギー消費量(百万トン石油換算)	230	425
Prod/Cons (%) 生産量/消費量(%)	51	10
Electricity Generation (TWh) 発電電力量(10 億 kW 時)	460	960
Nuclear Share (%) 原子力発電割合(%)	75	30



Japan FBR Special Committee 8/5/97



A Tale of Two Countries (2)

日-仏の概要(2)

	FRANCE	JAPAN
Nuclear Elec Generation (TWh) 原子力発電電力量(10億kW時)	377	288
Installed Nuclear Power (Gwe) 原子力発電設備(百万kW)	58	41
# PWR 加圧水型原子炉(基)	54	22
# BWR 沸騰水型原子炉(基)	0	27
# HWR 重水型原子炉(基)	0	1
# FBR 高速増殖炉(基)	2	1

(december 95 figures)
(95年12月時点)



Japan FBR Special Committee 8/5/97



16th WEC Congress

第16回 世界エネルギー会議

	Population		Mtoe	
	1990	2020	1990	2020
North America	276	326	2172	2353
Latin America	448	716	582	1451
OECD Europe	454	489	1442	1701
Central Europe	100	111	295	322
CIS	289	344	1372	1449
North Africa + ME	271	543	297	807
Subsahara Africa	502	1195	267	693
Japan + Aus/NZ	150	163	543	606
South Asia	1146	1938	449	1454
South-East Asia	1657	2265	1309	4530
TOTAL WORLD	5293	8090	8728	15366

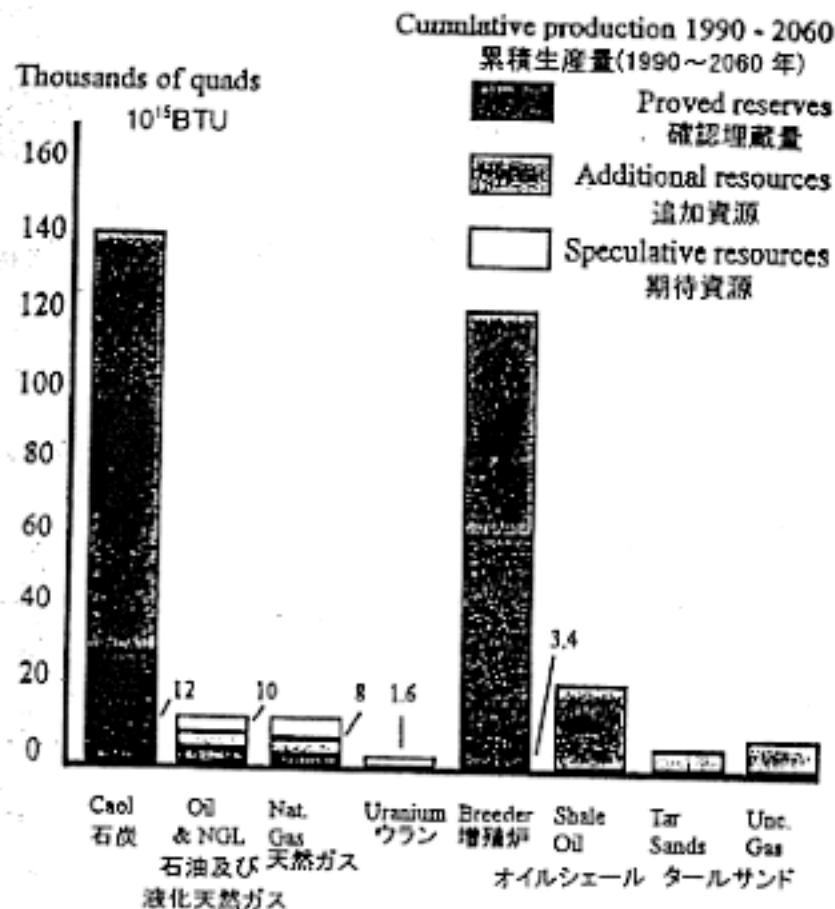
CEC

FBR Special Committee 8/5/97



Earth Energy Resources

世界のエネルギー資源



Source : US NAS

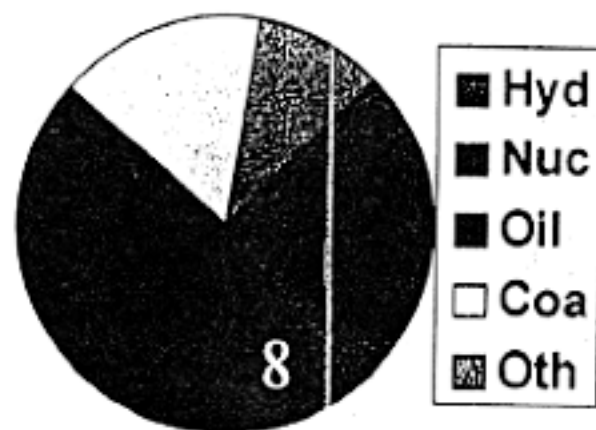
出典: 米国科学アカデミー

CEI

Japan FBR Special Committee 8/5/97

French Electricity Generation

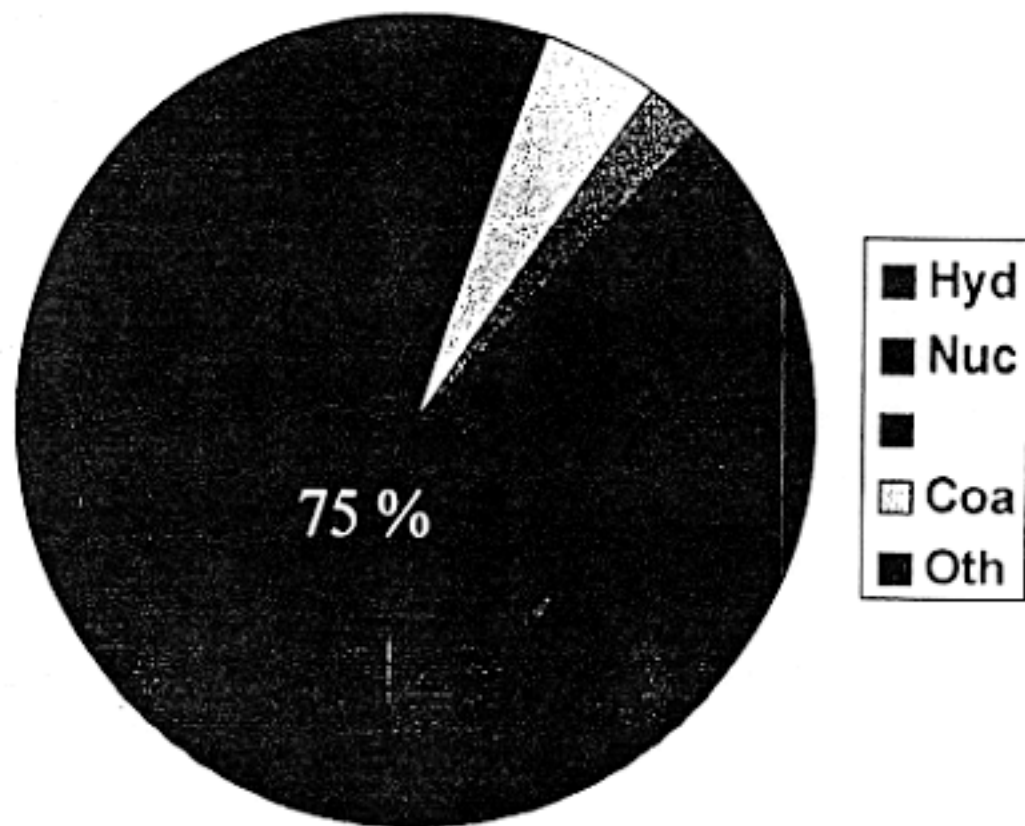
フランスの発電電力量



1973 : 174 TWh

1973年: 1740 億 kWh
(内原子力 8%)

ceci



1995 : 471 TWh

1995年: 4710 億 kWh
(内原子力 75%)



DRN

Japan FBR Special Committee 8/5/97

FBR Developments in France

フランスにおけるFBR開発

Rapsodie ラプソディ炉	24/40 Mwth 熱出力 24/4 万 kW	1967 - 1983 1967-1983 年	L ループ型
Phénix フェニックス炉	250 Mwe 電気出力 25 万 kW	1973 - 1973 年-	P タンク型
Superphénix スーパーフェニックス炉	1200 Mwe 電気出力 120 万 kW	1985 - 1985 年-	P タンク型

all Na cooled, (U,Pu)O₂ fueled

すべてナトリウム冷却炉、U-Pu 混合酸化物燃料(MOX)装荷

Plus design studies Phénix 450 (1974), Superphénix 2 (1976), 1500 Project (1982) EFR (1988 -1993-...) 他⁷の設計研究:フェニックス450(1974年)
スーパーフェニックス2(1976年)、1500プロジェクト(1982年)

欧州統合高速炉(1988-1993年-)



Japan FBR Special Committee 8/5/97



Phénix Achievements

フェニックスの成果

- **97 000 hours connected to the grid**
・97000時間の系統への送電
- **3 800 EFPD**
・3800日の全出力運転相当
- **Complete fuel recycling from bred Pu**
・増殖プルトニウムによる燃料リサイクルの完成
- **Demonstrated Breeding Ratio 1.15**
・増殖比 1.15 の実証
- **144 000 MWd/t**
・燃焼度 144000MWd/t
- **15 clad failures / 170 000 irr. pins**
・170000本の燃料ピン照射、そのうち15本が被覆管破損



Japan FBR Special Committee 8/5/97



Superphénix : part 1

スーパーフェニックス:その1

1200 Mwe FNR plant, owned & operated by NERSA

120 万 MWe の高速中性子炉, ネルサ社が所有・運転。

(51% EDF, 33% ENEL, 16% other european)

(NERSA 社出資比率: 51%フランス電力公社、33%イタリア電力公社、16%その他ヨーロッパ諸国)

- **1976 : Start of construction, at Creys-Malville**

・1976 年:クレイマルビルで建設開始

- **7/9/1985 : First criticality**

・1985 年 9 月 7 日:初臨界達成

- **12/1986 : Full power operation**

・1986 年 12 月:全出力運転

- **4/1987 : Na leak (20t) at the *barillet* > 20 months**

・1987 年 4 月:炉外貯蔵槽でのナトリウム(20t)漏洩→運転中止 20 ヶ月

- **1/1989 : Restart**

・1989 年 1 月:再起動

- **3/7/1990 : Shutdown for Na pollution (since 20/6)**

・1990 年 7 月 3 日:Na への不純物混入による運転中止(6 月 20 日から)



Japan FBR Special Committee 8/5/97



DRN

Superphénix : interlude

スーパーフェニックス:その後の出来事

- **7/1990 to 6/1992 : Safety re-analysis.** DSIN report dated 16/6 advises restart at 30% power, but decision to wait for Na fires reinforcements > creation canceled
・90年7月～92年6月:安全性再評価
DSIN(原子力施設安全局)は6月16日に30%出力での運転を認める報告を出していたが、ナトリウム火災対策を強化するまで中止の決定が下った。→許認可令が無効になった。
- **27/10/1992 : request for new creation.**
・92年10月27日:新しい許認可令の申請
- **1993 : New public Enquiry (and 2ndary side revamp)**
・93年:公聴会開催(2次系の改造)
- **18/1/1994 : DSIN recommands authorization**
・94年1月18日 : DSIN の設置許可勧告
- **22/2/94 : Prime Minister announces restart *but with a new R&D mission and evolution toward Pu burning***
・94年2月22日:首相はプルトニウム燃焼評価への目的変更及び展開を行う再起動を発表した。
- **11/7/1994 : New Creation Decree**
・94年7月11日:新しい許認可令公布



Japan FBR Special Committee 8/5/97



Superphénix : Part 2

スーパーフェニックス:その2

- **25/12/1994 : Shutdown (Argon leak in IHX feeder) in situ repair by expanding sleeve**

・94年12月25日:中間熱交換器のアルゴンガス供給部漏えいの拡管スリーブによる修理のための運転停止。

- **25/8/1995 : Repair completed. Request for restart**

・95年8月25日:修理完了。再起動の許可申請。

- **4/10/1995 : «Castaing» Commission nominated.**

Report issued 20/6/1996 : see below

・95年10月4日:キャスタン委員会が指名された。96年6月20日に報告書提出:

- **22/12/1995 : Restart 30%. 2/96 : 60%. 10/96 : 90%**

・95年12月22日:30%出力での再起動、96年2月:60%出力、96年10月:90%出力

- **5/1996 : planned outage (CR Shuffling)**

・96年5月:計画停止(制御棒シャuffling)

- **25/12/1996 : planned shutdown (6 monhs)**

・96年12月25日:計画停止(6ヶ月間)

- **28/2/1997 : «Conseil d'Etat» voids Creation Decree**

・97年2月28日:仏参事院が許認可令を無効にする。

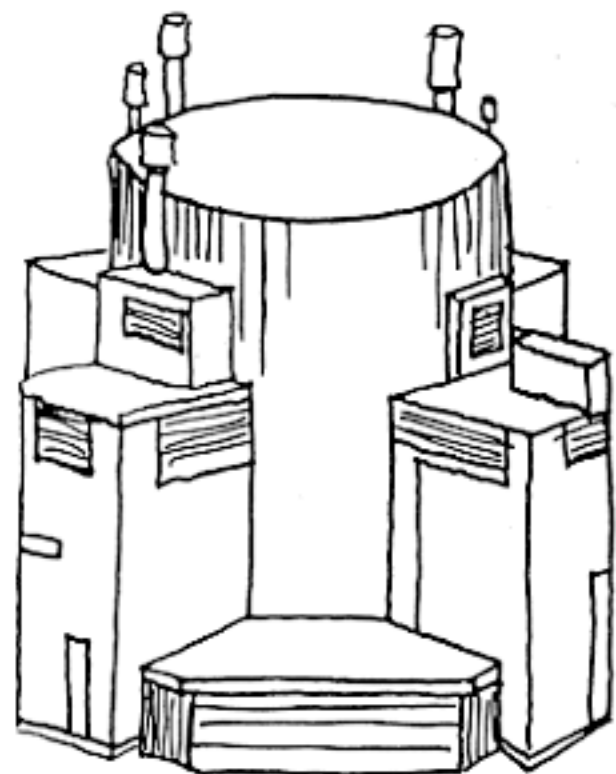


Japan FBR Special Committee 8/5/97



Superphénix : 1996 in brief

スーパーフェニックス:1996年短報



95% Availability (vs planned)

95%稼働率 (比計画値、定期運転停止を除く)

250 days connected

250日送電

3.5 billion kWh

35億kWh時

Positive Casting Report

キャストン報告の実践

Experimental Capra subassemblies delivered

実験用CAPRA集合体持ち込み

Argon leak repair stable

アルゴンガス補修後異常なし

probably the best year since start-up...

1996年はおそらく運転開始後最良の年

CECI

Japan FBR Special Committee 8/5/97



Knowledge Acquisition (PAC)

知見獲得計画 (PAC)

Ordered by Prime Minister 22/2/1994

運転再開に関する首相からの指示

Established by NERSA, EDF & CEA 29/4/1994

ネルサ社 (スーパーフェニックスの運転会社)、仏電力公社、仏原子力庁の提案

Evaluated by MM. Dautray, Detraz 31/5/1994

ドートレイ、デトラス両氏による評価

Included (Art.3) in Creation Decree 11/7/1994

新たな設置許可政令 (第3条)

3 complementary goals :

3つの相補的な目的 :

- Obtain industrial experience in FR operation

・産業レベルでの高速炉運転経験の取得

- Demonstrate FR flexibility and qualify solutions for Pu consumption (CAPRA)

・プルトニウム消費 (CAPRA) 及び高速炉の柔軟性の実証の方策の有効性確認

- R&D on LL radwastes destruction

・長寿命放射性廃棄物消滅に関する研究開発



Japan FBR Special Committee 8/5/97



CAPRA R&D Programme

CAPRA 研究開発計画

WHY

Breeding no longer urgent and fully demonstrated

・増殖はもはや早急な課題ではない。また十分実証されている。

Reprocessing and MOX recycle with incentive to limit Pu stockpile

・Pu貯蔵量を制限するために再処理しMOX燃料をリサイクルする。

Specific merits of Fast Reactors : Plutoniums, MA

・高速炉特有のメリット：Pu及びマイナーアクチニド(MA)の燃焼

At least 10 years to fully assess burning capability (which concerns only core and fuel, ~ 10% plant)

・燃焼の可能性を十分評価するには、少なくとも十年はかかる。

(プラント全体のおよそ10%を占める炉心と燃料のみに関する)

HOW

• **93-94 : Feasibility Oxide core 45% Pu**

・1993-94年 :

45%Pu 混合酸化物燃料炉心の成立性確認

• **95-98 : Validation oxide core design**

・1995-98年 :

酸化物燃料炉心設計の妥当性検討

Feasibility cores without uranium

Fuel fabrication and performances

ウラン無し(プルトニウムのみ)炉心の成立性確認

燃料の製造と性能の実証

Japan FBR Special Committee 8/5/97



DRN

«Casting» Recommendations

キャスティング委員会勧告

・SPX (スーパーフェニックス) は研究開発に適したものの
特定の設計を対象とした利用をすべきでない。

・材料に関する基礎研究の遂行

Set up Scientific Advisory Board

・科学諮問委員会の設置

PAC.1 Increase reliability and safety, rather than focus prematurely on performances and economics

知見獲得計画 その1. 性能や経済性よりも、信頼性と安全性を向上させる。

PAC.2 Demonstration of global Pu burning ability not urgent

知見獲得計画 その2. 急がないものの、広範なPu燃焼能力を実証する。

PAC.3 Accelerate R&D on Americium (1991 Law)

知見獲得計画 その3. アメリシウムに関する研究開発の促進 (1991年放射性廃棄物管理研究法)

訳者注: 1991年12月制定の上記法律により、高レベル超寿命廃棄物の最終的管理法を2005年までに決定する義務が政府に課せられた。

Japan FBR Special Committee 8/5/97

«Casting» Consequences

キャスタン委員会を受けて

Experts Group on Materials Research for SpX

・スーパーフェニックスに同炉のための材料研究専門家グループを設置

Increase in «ISIR» programs of CEA

・仏原子力庁の「供用期間中検査及び修理」プログラムの増加

ARCOPAC project for PAC results conservation

・知見獲得計画の結果を受けての ARCOPAC プロジェクト

Cooperative R&D on alternative coolants

・（ナトリウム以外の）冷却材に関する研究開発

Development of special subassemblies to increase technological irradiations in SpX core

・スーパーフェニックス炉心内照射の増加のための特殊燃料集合体の開発

New experimental irradiations, incl. Am in core2

・炉心2におけるアメリシウムを含む新たな照射実験

Japan FBR Special Committee 8/5/97



International Cooperation

国際協力

European «EFR» Cooperation :

欧州統合高速炉(EFR)での協力:

Utilities : EFRUG + Engineering EFR Associates + R&D Serena/Fastec

事業者: 欧州高速炉電力グループ+エンジニアリング: EFR 連合+研究開発: 欧州高速炉推進共同会社/高速炉技術会社

- **Japan : PNC-CEA and Europe-PNC/JAERI/
CRIEPI/JAPC**
・日本: 動力炉・核燃料開発事業団-仏原子力庁と欧州-
動力炉・核燃料開発事業団/日本原子力研究所/電力中央研究所/日本原子力発電

- **Russian Federation : CEA-Minatom (1994)**
・ロシア連邦: 仏原子力庁-ロシア原子力省(94年)

- **China : CEA-CNNC (1995)**
・中国: 仏原子力庁-中国原子力工業総公司(95年)

- **Others : PSI, GE, various CAPRA partners**

・その他: ポール・シェラー研究所(スイス)、ジェネラルエレクトリック(GE)社、他 CAPRA 計画参加機関

(plus information exchanges between reactor operators : Phénix with Monju, Aktao, BN600 and Superphénix with monju)

(原子炉運転者間の情報交換: フェニックスと「もんじゅ」、Aktao, BN600、
また、スーパーフェニックスと「もんじゅ」)

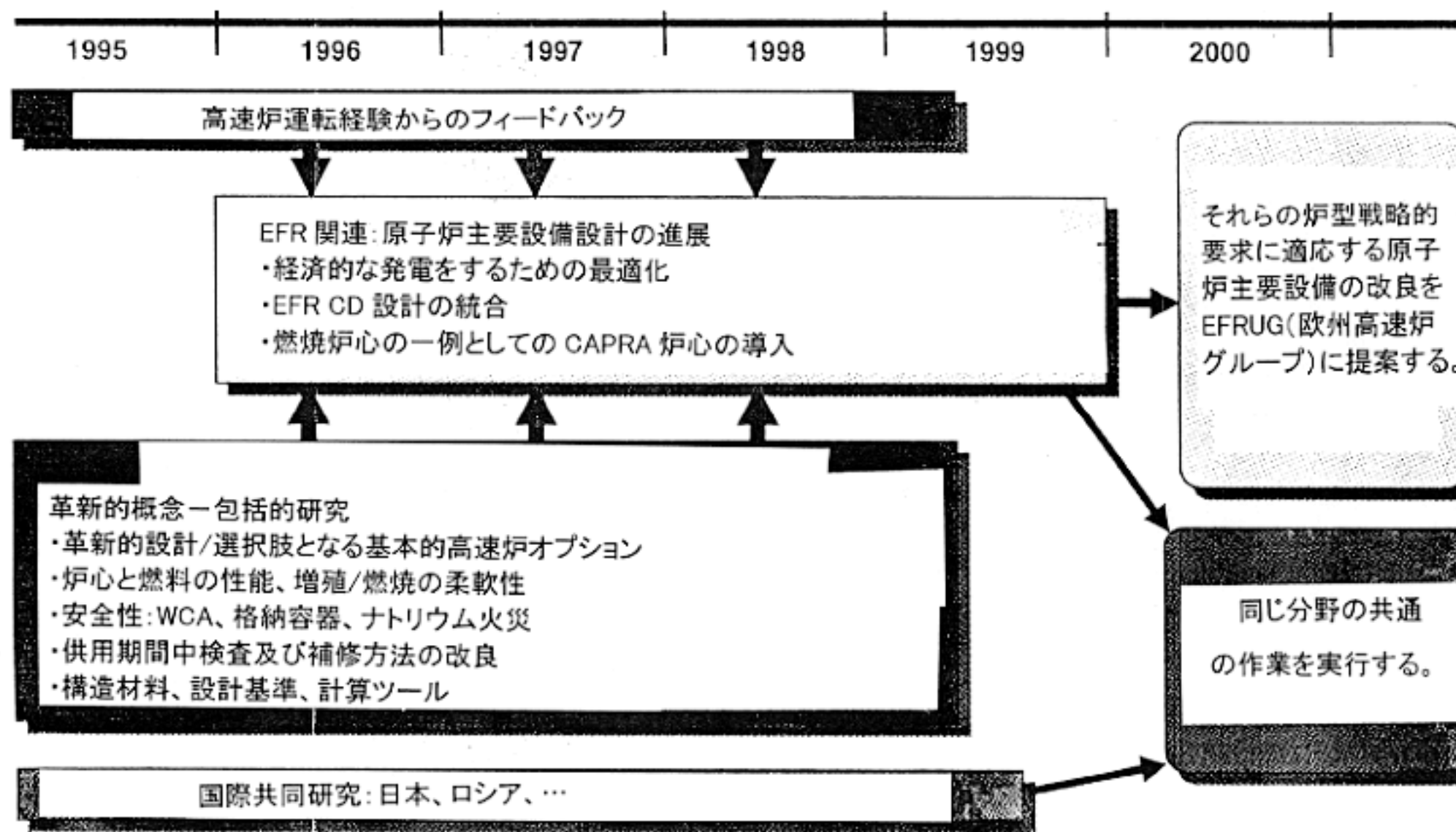
R
&
D



Japan FBR Special Committee 8/5/97



WORK PROGRAMME OUTLINE 作業計画概要



Japan FBR Program (private comments)

日本のFBR開発について(個人的見解)

Poor in fossil energy resources (like France), Japan has made a long-term commitment to nuclear power

フランスと同様化石エネルギー資源に乏しい日本は長い間原子力を続けている。

For countries depending upon nuclear power, FBR program constitutes a kind of insurance premium against future uranium scarcity (*sustainability*)

原子力に頼っている両国にとって、FBRは将来のウラン不足に対する保険料のようなものである。

The Japan FBR program appears to be continuous, progressive, and with well defined milestones : JOYO, MONJU, DFBR within a realistic time frame

日本のFBR開発計画は継続的、発展的であり、よく定義されたマイルストーンを持っているように見受けられる。「常陽」、「もんじゅ」、「実証炉」は現実的な時間スケールにある。

Japan is well connected with foreign FBR R&D

日本はFBR研究開発において海外と密接な関係がある。

From a *strictly technical* point of view, the MONJU incident was minor (>100 Na leaks...)

厳密な技術的観点からは「もんじゅ事故」はマイナーな事象である。
(これまで100件以上のナトリウム漏えい事故がある)



Japan FBR Special Committee 8/5/97

