講演

Phenix とフランスの高速増殖炉開発

Phenix and the Program of Fast Reactor Development in France

By Bernard GUILLEMARD*

(1976年3月26日東海大学湘南校舎(昭和51年年会C会場)にて講演)

座長 動燃・望月恵一氏

1976年3月26日日本会「昭和51年年会」において、海外原子力調査研究連絡会のインフォーマルミーティングが開かれ、在東京フランス大使館原子力アタッシェのギャマル氏が表記の題で講演された。Phenix 炉の順調な運転と、フランスにおける高速増殖炉の考え方が明解に説明され、興味深いものであったので、ここに同氏の許可を得て、その概要を紹介する。

(文責・望月恵一)

I. Phenix

Phenix は電気出力 25 万 kW の高速増殖原型炉で、建設開始は 1968 年末、最初の臨界が 1973 年 8 月 31 日、送電開始が同年 12 月 13 日、営業運転が 1974 年 7 月 14 日から始まった。第 1 年目の負荷率は 78.8% と良い成績であった。

建設の経過と所要人員を第 1 図に示す。原子炉容器は現地に特別のショップを建て、ここで組み立てられた。工場と現場の品質管理には注意を払った。

起動試験は 4 段階に分れる。第 1 段階ではすべての補助系の試験、第 2 段階(72 年末～73 年 7 月)は Na の注入と 150～450°C の Na 循環運転、第 3 段階はゼロ出力試験(臨界)と電力系統試験および蒸気発生器の最初の運転、第 4 段階は発電運転で、温度と出力を徐々に定格まで上げて行くこと、およびその間にすべての安全系統を試験し、最後に全出力での一定期間連続試験であった。臨界から出力試験までの経過を第 2 図に示す。

第 1 年目の運転は、発電 1,727,000 MWh、送電

- ① 1968年11月 敷地整備開始
- ② 1969年6月 コンクリート打ち開始
- ③ 1970年6月 現地での原子炉容器建設開始
- ④ " 12月 原子炉容器据付
- ⑤ 1971年7月 Na 到着
- ⑥ " 8月 原子炉蓋据付
- ⑦ 1972年3月 発電機到着
- ⑧ " 12月 2次ループへ Na 注入
- ⑨ 1973年1月 炉側へ Na 注入
- ⑩ " 2月 補助ボイラでタービン発電機回転
- ⑪ " 8月 燃料装荷および臨界
- ⑫ " 12月 送電開始
- ⑬ 1974年3月 全出力発電
- ⑭ " 7月 営業運転開始

第 1 図 Phenix の建設

1,610,000 MWh、負荷率 78.8%、利用率 84% であった。第 3 図は 1 年間の運転経過を示す。

運転中の事件として、74 年 9 月と 75 年 3 月に 2 次系ループに少量の Na 漏洩(弁からの漏洩)があったが、炉を止め、故障ループを隔離し、Na を排出し、修理を

* Attaché pour les questions nucléaires, Ambassade de France, 4-11-44, Minami-Azabu, Minato-ku, Tokyo.

第2図 Phenix の出力試験

第3図 第1年目の営業運転(1974~75年)

行い、その間、他のループを用いて全出力の $\frac{1}{2}$ で運転を続けることができた。漏洩は少量であったが容易に検出でき、しかも、ループが加圧されていないから心配することはない。

給水側の漏洩もあったが、まったく他の炉の場合と同じで高速炉特有のことではない。

1年の運転は極めてスムーズで、プラントは安定で、毎日、ごく僅かのパラメータの調整だけで済んだ。冷温停止後全出力までは24hrを要するが、高温停止からは5~6hrしかかからない。

停止中の炉の冷却は蒸気発生器経由、空気自然循環で容易で正確に行える。電力喪失時でも、炉の冷却が自然循環で行える設計が、試験で実証されたことは興味深かった。

炉停止の内分けは、燃料交換50%、Na漏洩25%、蒸気、水系の漏洩と電気機器故障が25%である。

燃料交換サイクルはPhenixが燃料照射も目的としているため、短期で頻度が高く、このため負荷率を下げているが、商業炉では交換は年1回であり、負荷率は良くなる。

1年照射後、予想の50,000 MWD/tを炉の中心部では超す部分もあり、燃料の異常はなかった。燃焼度はさらに上がることが期待される。

炉特性では、熱出力が定格を8%を超えたが、最高値はタービン発電機の容量で抑えられた。熱効率(正味)、42.3%に達し、火力発電と同等以上であった。第1表は炉特性の設計値と実績値との比較を示す。

第1表 Phenix の第1年目の運転実績

		設計値 (予定)	実績値	最高値
熱出力	(MW)	563	563	591
電気出力				
gross	(MW)	250	254	267
net	(MW)	233	238	250
効率 gross	(%)	44.3	45.2	45.2
net	(%)	41.4	42.3	42.3
被覆最高温度	(°C)	700	670	690
炉出口 Na 温度	(°C)	560	554	563
過熱器出口蒸気温度	(°C)	512	509	516
過熱器蒸気圧力	(bar)	163	163	163
(第1年目の運転予定)				
熱エネルギー	(MWD)	163,000	150,000	—
等価運転日数	(563 MWt)(日)	290	336	—
発電	(MWh)	1,727,000	1,968,000	—
送電	(MWh)	1,610,000	1,832,000	—
バーンアップ(最高)	(MWD/t)	50,000	56,000	—
負荷率	(%)	—	78.8	—
利用率	(%)	—	84	—

運転員の被曝量は平均24 mrem/yr, 最高375 mrem/yrで、放射性ガス放出は一般に0.35 Ci/day以下、最高2 Ci/day, 年総量140 Ci(予定は230 Ci/day, 85,000 Ci/yr)で予定よりはるかに低かった。また、タービン冷却水(1,000 m³/sec)として利用するロース河の温度上昇は0.07°Cにすぎない。

以上の1年間の運転実績では Phenix を正確に判断することはできないが、この型の炉の将来の発展を極めて勇気づけるものであった。Phenix に採用された全体としての設計概念、Na 冷却、独立の2次ループ、燃料概念などが良好で、これによりスムーズで安定な運転と異常時でも安全な冷却が可能で、加圧回路をなくし、放射線が低く、環境への影響を最小にすることができた。

II. フランスの高速増殖炉開発計画

フランスの高速炉開発予定を第2表に示す。1,800 MWe クラスの増加率は18ヵ月に1基の割である。1991年には8,000 MWe 以上の高速増殖炉が運転する。2000年には全発電容量の1/4、全原子力発電電力量の1/2に達し、発電コストが低いので基底負荷運転に使われる。また電力需要増加率が今世紀末に下がって来れば、高速炉にのみ依存するようにする。これが、フランスとして、エネルギーの独立をめざす最終ステップである。

第2表 高速増殖炉建設予定

発注者	発注予定年	容量(MWe)
NERSA†	1976	1,200††
EDF†	1979~80	2×1,800
EDF	~1985	2×1,800

† EDF: フランス国営電力会社

NERSA: EDF 51%, イタリア国営電力会社 ENEL 33%,
ドイツ電力会社16%の共同出資会社

†† Super Phenix 1982年完成予定

高速炉の開発と軽水炉とは密接な関係があるので、一覧すると次のようになる。

フランスは1974年以降、火力発電所は建設せず、原子力発電所のみ建設すること、当面は世界的に多数運転されている軽水炉に集中することを決めた。1975年、軽水炉としても特にPWRのみ建設することを決めた。

これは、国内マーケット、工業界を2つ(BWR と PWR)に分離させる余裕がないことによる。この方針

の下にPWRの発注を第3表のように行なっている。

第3表 軽水炉(PWR)の発注

発注	容量(MWe)	
1974年以前	6×900	} 決定
1974~75年	13,000	
1976~77年	12,000	
1978年	5,000	
1979年以降	5,000~6,000/yr	予想

900 MWe プラントのうち6基は発注済み、第1次長期発注契約の16基は1979~81年に運転に入り、残りの10基は第2次長期契約でなされる。また1982年から1,300 MWe のプラントも導入され、85年以降の建設はこの容量のものになるだろう。

フランスにおける高速増殖炉開発の考え方は、次のとおりである。すなわち、フランスは日本と同じく地下資源に乏しいが、エネルギー(電力)需要は増大する(1975年 181×10^9 kWh, 85年 385×10^9 kWh)。初期投資、燃料コストが他の発電型式と比較して優れており、外国のエネルギー資源への依存度を下げ、外貨を節約する意味から原子力発電の必要性と重要性が認識され、当面、上述のように多数の軽水炉の建設を行うことになった。この軽水炉から多量のPuが生産されるが、これを利用するのに軽水炉でのリサイクルや重水炉での利用よりも高速炉が最良である。高速増殖炉は濃縮工場から排出される劣化ウランを活用できる。またPuという特別の核種を効果的に“破壊”してしまいうることができる。したがって、フランスとしては当面軽水炉で生産されるPuと高速増殖炉でのPuの最初の装荷必要量とのバランスで、Puの貯蔵がミニмумになるように、高速増殖炉の総基数、容量および増殖率を考えて開発して行く。上記のようにして、フランスはエネルギーの独立を達成することができると考えている。

(なお、Super Phenix の建設は、1976年4月中旬にフランス政府によって正式に決定された。)

(1976年 5月10日 受理)