

原発負荷追従運転の問題点

1. 当世軽水炉事情

(1) 発電コスト: “安価” といえなくなってきた



競争力強化のため稼働率 UP の要請 具対的対策として、

- ① 定検の切り下げ
- ② トラブル・故障を運転継続しながら修復
- ③ 長サイクル運転

(2) 全発電量 (力ではない) に占める原発発電量の割合が上昇 (図1)

(3) 発電設備が過剰になってきた

(4) 日間および季節間電力需要変動率が上昇 (図2)

原発 = 基底負荷運転 が困難となる ←



負荷追従運転 を迫られる ←

(燃料屋が仕事にあぶ
新しい仕事を創りたが

(5) プルトニウムの蓄積 →

- ① 安全上問題
- ② 核不拡散上問題
- ③ 核燃料としての組成劣化

(^{241}Pu の $T_{1/2} = 13.2\text{y}$)

プルーサーマルの採用

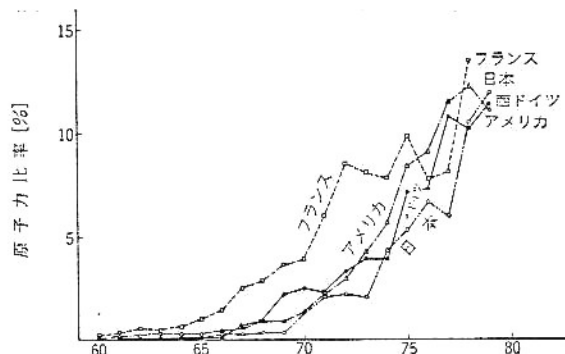


図1 原子力比率の推移

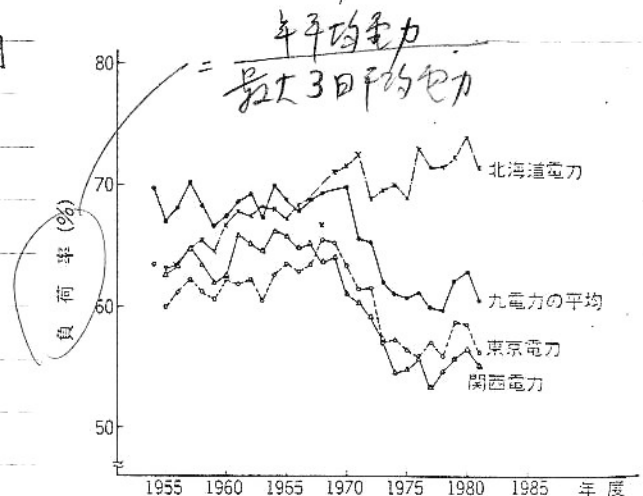


図2 年負荷率の推移

2. 負荷追従運転の方法

(1) 運転パターン (図3)

① 日負荷追従運転

1) 3-6-3-12 型

2) 1-8-1-14 型

② 週末負荷追従運転

(2) 負荷追従手法

1) PWR の場合

① 2次系の負荷変動



② 制御棒挿入又は引抜き

(原子炉出力を追従させるため)



③ 一次系ホウ素濃度調整 (現在は手動, 軸方向出力分布調整が主目的で、同時にXe濃度変化による反応度効果も補償する)



④ 制御棒挿入又は引抜き中の緩和



⑤ 場合により ③~④ をくり返す

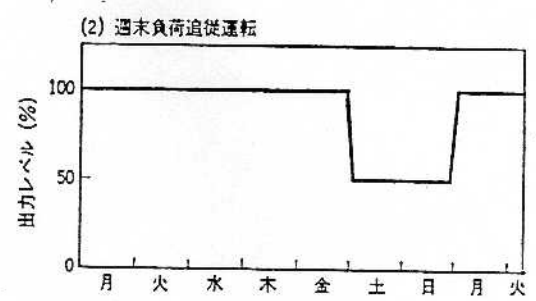
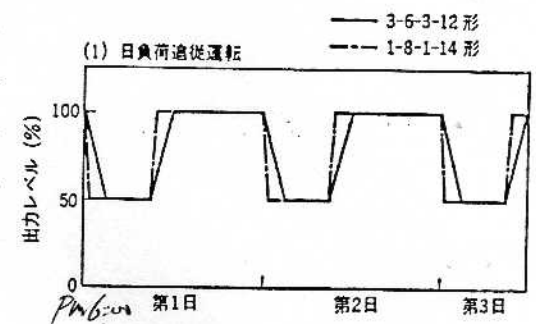


図3 負荷追従運転パターン (例)

注1: PWRにおいては、軸方向出力分布の

制御方法として、アキシャルオフセット

一定値制御運転 (CAOC) という手法

が一般にとられている。

$$\text{アキシャルオフセット} = \frac{\text{上半炉心出力} - \text{下半炉心出力}}{\text{全炉心出力}}$$

電力系統運用上の必要から、できるだけ

急速に全出力に復帰できるようにするため、

この「一定値」の範囲を拡張したり、

一次冷却材炉心入口温度の一時的低下

の許容などを考えている (新負荷追従

運転法)。これにより、1-8-1-14型

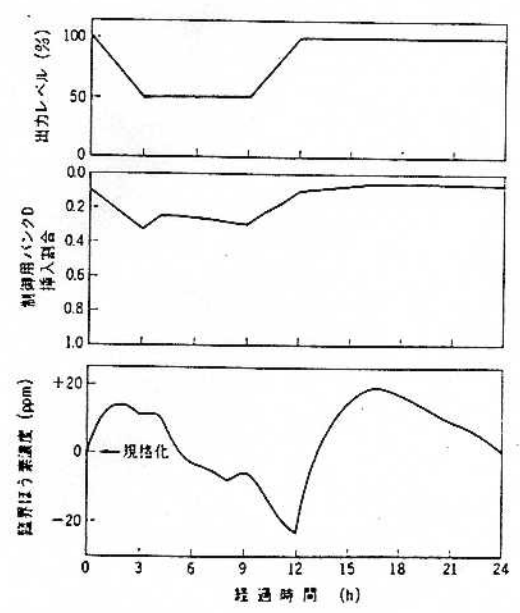


図4 日負荷追従運転時の炉心パラメータの変化 (典型例)

負荷追従運転が可能となつてきている。²⁾

2) BWRの場合^{3) 4)}

中央給電指令所より通信回線による“日負荷追従運転”を、プラント内出力調整装置に指令 → タービンへの蒸気加減弁変更



再循環流量変更 (炉内ボイド量変化)



原子炉出力変更

(負荷変動の大きい場合は制御棒挿入(又は引抜き)により調整)
 ↳ 出力変動にして 65% 以下までの下上

3. 負荷追従運転のために必要な改造

(1) PWRの場合

100% ↔ 50% の範囲での追従運転なら、燃料棒はいめ、ハード面での改造は必要ないとしている。しかし、一斉では高性能燃料 (Zr ライター燃料*) の開発も併行して進めているようだ。^{2) 3) 5)}

* Zr ライター燃料⁶⁾ ---- ジルカロイ被覆管の内面に軟かい純 Zr をクラッドし、出力の急上昇によりペレットが膨張し、被覆管と接して起こす相互作用を緩和する。

(2) BWRの場合

100% ↔ 65% の範囲では再循環流量による出力調整運転が可能なので、出力分布性能をあまり損わずに負荷追従運転が可能であるが、それより大幅な負荷追従には制御棒の操作が必要とされている。BWRでは、高性能燃料 (Zr ライター燃料、中空ペレット⁷⁾) の開発を待って負荷追従運転にはいる計画のようである。⁵⁾ 理由は、BWRでは、ならし運転 (PCIOMR --- Pre Condition Interim Operating Management Recommendation) が必要で、自由な負荷追従運転に制約となっているため、その制限の無い高性能燃料開発が前提となる。

** 中空ペレット⁷⁾ ---- ペレット中央の高温部分を除いたペレット。FP ガス放出量低減をはかるもの。

4. 負荷追従運転の問題点(思いつくものを列挙)

(1) 燃料棒破損、放射性物質リークの危険性が増大する。

① PCI(燃料-被覆相互作用)の危険性が増大する——出力上昇が急であると、燃料ペレットの昇温が早く膨張が急であるのに、被覆管の昇温が遅れるので、被覆管にペレットが接して押し広げ、その応力急にかかると。

② SCC(応力腐食)を起し易くする——ペレットの急な昇温により、温度の高い中心部からガス又は揮発性のFPが放出され、ペレットの割れ目を通して被覆管に急激に吹きつけられる。この現象とPCIとが重畳して応力腐食を起し易くする。

③ 被覆管に与えるくり返し疲労を増大させる³⁾

(これに関する資料が見当たらないが重大と思う)

(2) 燃料集合体の他の部分も使用条件を過酷にし、劣化を早める。

① 制御棒の出入りが頻繁となり、制御棒および案内リングの摩耗による故障²⁾→事故につながる恐れ

② 支持格子など他の燃料集合体部品の劣化も早める。

(3) ならし運転のバウンダリを超えた運転をやってしまう恐れが増え、それによる燃料棒破損の危険性が増す。

(4) 運転条件の緩和からくる危険性の増大

① アキシャルオフセット制限範囲拡大(新負荷追従運転法)により、軸方向出力分布の平坦化が損われ、DNB、キセノン振動の危険性が増す。

② 一次冷却材炉心入口温度の一時的低下の許容()により、反応度や出力分布に外乱を与える。

③ その他(まだあるにちがいない。操作手順の簡略化、省略化を含めて)

(5) 制御棒の出し入れ頻度の増加により、出力分布の劣化の恐れが増加し、DNBやキセノン振動を起す機会が増える可能性がある。

(6) プラント運転が複雑化し、故障やミスの可能性を増やす。

① 頻繁な出力の上下は、キセノン蓄積の挙動を複雑にし、それへの対応のおくれ、ミスを起す恐れが生ずる。

② 運転操作の増加と複雑化により操作員の負担を増やし、それだけ危険性を増やす。

特に、PWRの一次冷却水中ボロン濃度の調整は手動のため、その調整ミスによる反応度制御失敗の危険性が増える。

⑤ 夜間における作業・操作量増加によるトラブルやミスの多発化
(過去の重大事故は、ほとんど夜間に発生)

③ 燃焼末期の負荷追従運転は著しく難しく(トータ冷却水中ホウ素濃度の低い場合、調整(特に稀釈による)は非常に難しく、誤って反応度事故を起こす恐れがある。

④ その他、プラント過渡状態の頻発化、日常化によるトラブルやミスの多発化

(7) 経験不十分 または 未経験から来る未知の問題(危険性)発生の可能性

① プラント寿命の短命化とその予知不明性。そこから生ずるトラブルの多発化とそれらの発生の早まり、そして対応の遅れ。

② 強放射線照射下でのくり返し熱疲労(これは未知の領域ではないだろうか?)

問題点の整理

1. 燃料棒の問題

(1) 出力上下の回数増加から来る問題

くり返し応力による疲労による被覆管の脆化

(2) 出力上昇速度の増加から来る問題

① PCIの増大

② SCCの増大

(3) 各種制限値緩和の問題

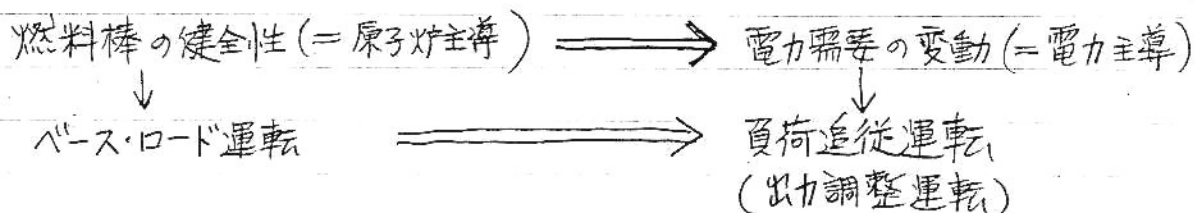
2. 制御の問題

(1) 手動によるホウ素濃度調整のミスの問題

(2) 燃焼末期におけるホウ素濃度調整の困難性

3. 運転員に対する負担の増加

4. 原発運転を律する主導理念の転換 (すでに、なくずに転換しているところがあるが)



最後に、

たとえば、一時的に可能であっても、それだけ燃料の安全余裕を喰い潰すことは間違いなく、危険性は増加する。

文献

- 1) 原子力工業 才29巻, 才3号 (1983) p. 39~
- 2) 三菱重工技報 Vol. 19, No. 6 (1982) p. 652~
- 3) 日本原子力学会誌 Vol. 28, No. 10 (1986) p. 913~
- 4) 同 Vol. 23, No. 5 (1981) p. 355~
- 5) 原子力工業 才28巻 才7号 (1982) p. 27~
- 6) 日本原子力学会誌 Vol. 29, No. 6 (1987) p. 487~
- 7) 原子力工業 才28巻 才7号 (1982) p. 31~
- 8) 同 同 同 p. 37~
- 9) 日本原子力学会誌 Vol. 24, No. 6 (1982) p. 413~
- 10) 東芝レビュー 41巻, 1号 (1986) p. 43~
- 11) 日本原子力学会誌 Vol. 25, No. 9 (1983) p. 696~
- 12) 同 Vol. 27, No. 8 (1985) p. 732~
- 13) 同 Vol. 28, No. 7 (1986) p. 641~
- 14) 同 Vol. 22, No. 10 (1980) p. 718~
- 14) 三島良績 編 「核燃料工学」 (1972) p. 252~266