

〔コメント2〕 炉物理・炉設計の見地から(1)

炉物理及び計算法の観点よりのコメント

NAIG 水田 宏

高転換軽水炉(HCLWR)の核的特性, 計算法から見た問題点, 計算コード例などについて気付いた点を簡単にお話します。

1. 核的特性

1) 中性子バランス

熱中性子炉(LWR)の核分裂の80%以上が熱中性子領域で起っているのに比べ, HCLWRの場合は中速中性子領域(0.6 eV~5.5 keV)でのPu-239, Pu-241による核分裂が50%以上を占める。また, 転換比を左右するU-238, Pu-240の中性子捕獲吸収も, やはり80%以上が中速中性子領域で起っている。(吉田氏の発表の図表参照)

2) 燃焼特性

燃焼による反応度ロスの内訳をHCBWRとBWRとで比べたものを図1に示す。核分裂生成物(FP)の増加による反応度の減少 K_{FP} は, Xe-135, Sm-149による分を除けばHCBWRの場合もBWRの場合もほぼ同じであるが, HCBWRの場合は, 核分裂核種の減少による反応度の減少 K_{fis} が小さいので, 反応度ロス全体に占める K_{FP} の割合はBWRの場合より大きくなり50%を越す程度になる。

3) 反応度係数, 制御棒価値

HCBWRのボイド係数は, その絶対値が従来のBWRよりかなり小さくなるが, その値は設計パラメータ V_m/V_f , Pu_f 濃度などによってかなり変わることは留意した方がよい。また, ボイド係数の絶対値が小さくなる方向はBWRでは, ボイドがつぶれる過渡変化に対しては, 余裕が大きくなる方向である。

ドップラー反応度係数は, 一般に $-dk/dT = C/T^r$ と表わされることが知られている。BWRでは, $r = 1/2$, FBRでは, $r = 1$ が用いられているが, HCBWRでは, $r = 2/3$ 程度となるようである。

また, HCBWRでは, 転換比などの核特性を損わずに制御棒価値を増す工夫が必要なこともよく言われている。

2. 計算法から見た問題点

1) 核分裂スペクトル

LWRの場合, 核分裂の大部分は, U-235によるものであり, 燃焼が進んだ時点でPu-239の寄与がかなり大きくなって来る。一方, HCLWRでは, 最初からPu-239, Pu-241の寄与

が大きく、U-238, Pu-240 の寄与もLWRよりかなり大きい。したがって、各核種の核分裂スペクトルの値がどの程度正確かということとは別に、燃焼の各時点で変化する核分裂スペクトル(各核種による核分裂の寄与の合計)を計算コードに取入れることも重要である。

2) 共鳴吸収

計算コード内での共鳴吸収の取扱いに関しては、いくつかの問題がある。

まず、①滑らかな吸収の領域/②非分離レベル領域/③分離レベル領域の境界をどこにとるか、①が広い場合自己遮蔽を考える必要はないか、②、③の計算モデルはどうするか、などの問題がある。また、クラスター型制御棒の配置なども考慮したダンコフ係数、異核種の共鳴レベル間の相互遮蔽効果、数eV領域における水分子の上方散乱・化学結合の効果の取扱いなども共鳴吸収の計算精度を左右する。相互遮蔽効果が問題となる主な核種及び共鳴レベルの組合せを表1に示す。この中でRh-103及びCs-133はFPの中でXe-131について大きな負の反応度効果を持つ核種である(HCLWRの場合)。Gd-155, Gd-157はLWRの場合重要になる。

3) 計算コードの検証法

計算モデルに関して重要なもう一つの問題はその検証方法である。通常、モンテカルロ計算との比較、臨界実験の解析が行われるが、時によっては、個々の計算モデルの部分的評価を総合的に判断する必要がある場合もある。一般に、燃焼特性の評価は困難であるが、この評価はHCLWRの場合特に重要である。何等かの実験データが得られなければ、燃焼を模擬した幾つかの時点でのモンテカルロ計算との比較、感度解析の活用などに頼らざるを得ないであろう。

3. 計算コードの例

公開された論文、文献などでHCLWRの解析・検討に用いられている計算コードの主なものを表2に示す。スイスEIRのPROTEUS実験解析結果などの比較を通してある程度各々のコードの“くせ”を知ることができるが、これらのコードの計算モデルの詳細は、一部のものを除いて明らかではない。簡単で代表的な体系でのベンチマーク計算、特に燃焼特性を含むものが、国際的規模で行われることが望まれる。

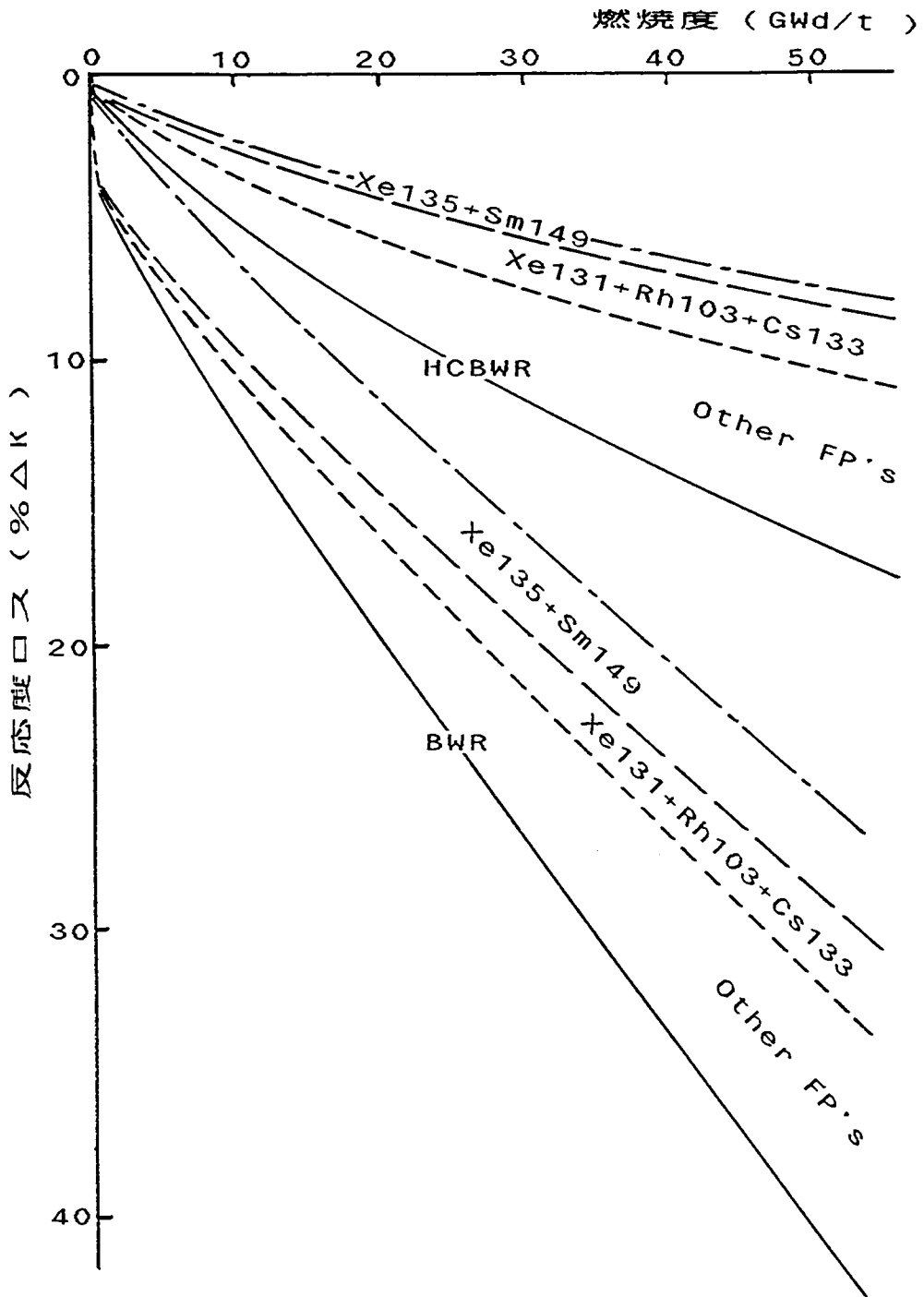


図1 燃焼による反応度ロスの内訳

表1 共鳴の相互遮蔽

Pu-240/Rh-103	1.056/1.275eV
U-238/Cs-133	6.67 /5.90 eV
U-238/Sm-150	21.0 /20.7 eV
U-238/Gd-155	6.67 /6.30 eV
U-238/Gd-155 /Gd-157	21.0 /21.0 eV /20.6 eV
U-238/Gd-155	36.7 /37.1 eV

表2 計算コード例

KARBUS (KAPROS+WIMS-D)	KfK
SRAC	原研
WIMS-E	EIR, MAPI, 阪大
EPRI-CPM	EPRI
CASMO	Studsvik
APOLLO	CEA
HELIOS.HX	NAIG / 東芝