

〔コメント1〕 感度解析からのコメント

阪大工 竹田 敏一

高転換PWR及び従来型PWRの格子における核特性の中性子断面積に対する感度解析並びに不確かさ解析を行い、高転換PWR炉心の核特性計算値に対する断面積の影響の程度を定量的に検討した。核特性として、 k_{∞} 、転換比及び冷却材ボイド反応度を感度解析の対象とした。高転換炉の核特性が軽水炉と大幅に異なるのは、燃料格子の稠密化と高プルトニウム富化度の燃料の使用に起因するわけであるが、本検討では、まず格子の稠密化に伴う核特性感度の変化について調べた。このため、プルトニウム富化度はPu-fissileで7.6 w/oに固定し、減速材対燃料体積比を0.4, 1.0, 2.0と変化させ、各核特性の感度を求めた。感度計算には、WIMS-Dコード並びに格子感度解析コードSAINTを使用し、不確かさ解析にはORNLで作成された断面積共分散行列データを使用した。以下に、各核特性に対する感度解析並びに不確かさ解析の概要について示す。

表1に k_{∞} の主要重核種に対する全群の感度係数並びに不確かさ(計算値の不確かさの標準偏差)を%単位で示す。全体の不確かさは従来型PWR格子($V_m/V_f \approx 2.0$)の1.7%に対し、HCPWR格子($V_m/V_f \approx 0.4$)の1.8%と、大差はない。しかし、その不確かさの核種ごとの寄与を見ると、 ^{238}U 捕獲断面積の不確かさにより、 k_{∞} の不確かさは従来型PWR格子の0.4%からHCPWR格子の1.0%に増加している。これは、格子稠密化に伴い、中性子スペクトルが硬化し、表1に見られるように ^{238}U 捕獲断面積に対する感度が大きくなるためである。感度係数は特に10~1000 eVの共鳴領域で大きくなっている。

転換比の不確かさは $V_m/V_f = 0.4, 2.0$ の格子でそれぞれ、3.3%, 1.8%であり、稠密化により不確かさも増加する。核種ごとの寄与を見ると、 k_{∞} の場合と同様、 ^{238}U 捕獲断面積の不確かさの寄与が大きく、それぞれ2.8%, 1.2%の不確かさを生じさせている。

冷却材ボイド反応度の不確かさ並びに全群の感度を表2に示す。不確かさは、従来型PWR格子に対する3.8%に対し、高転換PWR格子に対しては22.2%と大幅に増加している。 ^{238}U 捕獲断面積、 ^{239}Pu 捕獲並びに核分裂断面積の不確かさへの寄与が大きく、それぞれ15.6%, 9.2%, 9.8%の寄与がある。 ^{238}U 捕獲断面積に対する全群の感度は表2よりHCPWR格子では-0.83であり、従来型PWR格子の0.65と大差はない。符号が異なるのは、冷却材ボイド反応度がHCPWRでは正、従来型PWRで負となるためである。このように、全群の感度の絶対値に対しては炉型間で差が少ないが、エネルギー依存の感度に対しては図1に示されるように各格子で大きな差が生じている。HCPWR格子における感度は従来型PWRに比べると、6.7 eVの共鳴での感度も大きくなっているが、100 eV以上の共鳴領域で大きな負の値となっている。断面積の不確かさが大きくなるのは、100 eV以上であるので、冷却材ボイド反応度の計算値の不確かさはHCPWRで大き

くなるわけである。

次に、HCPWRで感度が大きくなる物理的理由について考える。図2には、HCPWRにおける冷却材ボイド反応度の ^{239}Pu 捕獲断面積に対する感度の成分を示す。感度係数の成分としては、核特性に対する表示式に感度の対象としている断面積が含まれている場合の断面積変化による核特性の変化を示す直接成分、断面積変化により中性子スペクトルが変わり核特性が変化する寄与を示す中性子束成分、随伴中性子の変化による寄与を示す随伴中性子束成分がある。これらの成分のうち、随伴中性子束成分が大部分の寄与を占めている事がわかる。これは、HCPWRの随伴中性子束のエネルギーに伴う変化が従来型PWRに比べ大きい事に基づいている。

以上の議論で、断面積データの誤差による核特性計算値の誤差はHCPWRでは従来型PWRに比べ増加する事が示された。今後、HCPWR臨界集合体での実験を行い、実験解析に感度解析を適用し、断面積の精度について検討することが、HCPWRの計算に用いるdata/methodの検証に重要となるであろう。

表1 k_{∞} に対する不確かさと感度係数

断面積	V_m/V_f			
	高転換軽水炉 0.41		従来型PWR 2.00	
	不確かさ (%)	感度係数	不確かさ (%)	感度係数
239 Pu C*	0.69	-0.145	0.70	-0.299
F	1.16	0.372	1.28	0.340
238 U C	1.00	-0.269	0.35	-0.153
240 Pu C	0.20	-0.062	0.27	-0.106
全不確かさ	1.82	—	1.66	—

* C: Capture
F: Fission

表2 冷却材ボイド反応度値に対する不確かさと感度係数

断面積	V_m/V_f			
	高転換軽水炉 0.41		従来型PWR 2.00	
	不確かさ (%)	感度係数	不確かさ (%)	感度係数
239 Pu C*	9.19	2.195	2.52	-0.016
F	9.83	-0.850	0.81	-0.372
238 U C	15.62	-0.833	2.28	0.651
240 Pu C	5.50	1.538	0.99	0.137
241 Pu F	3.59	0.546	0.50	-0.249
全不確かさ	22.18	—	3.81	—

* C: Capture
F: Fission

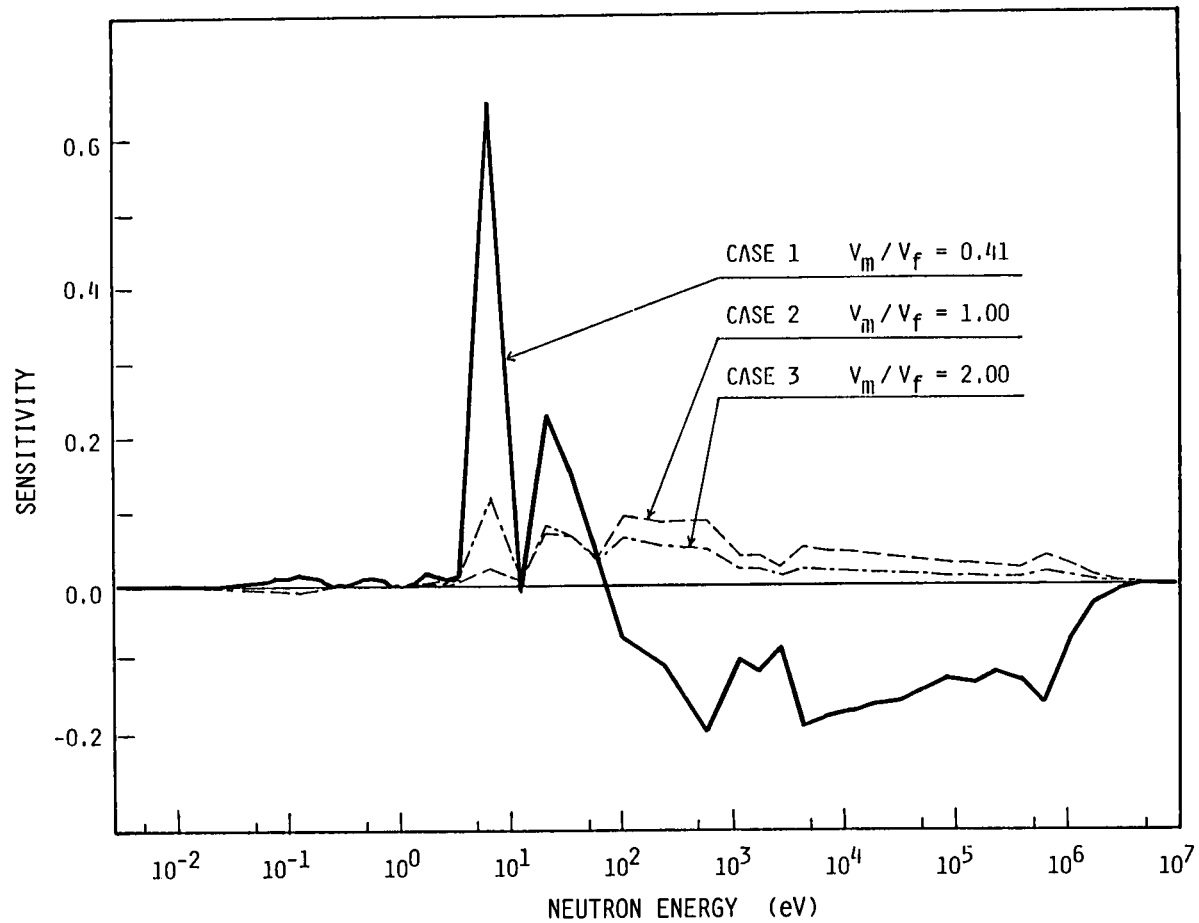


図1 冷却材ボイド反応度の²³⁸U捕獲断面積に対する感度のエネルギー依存性

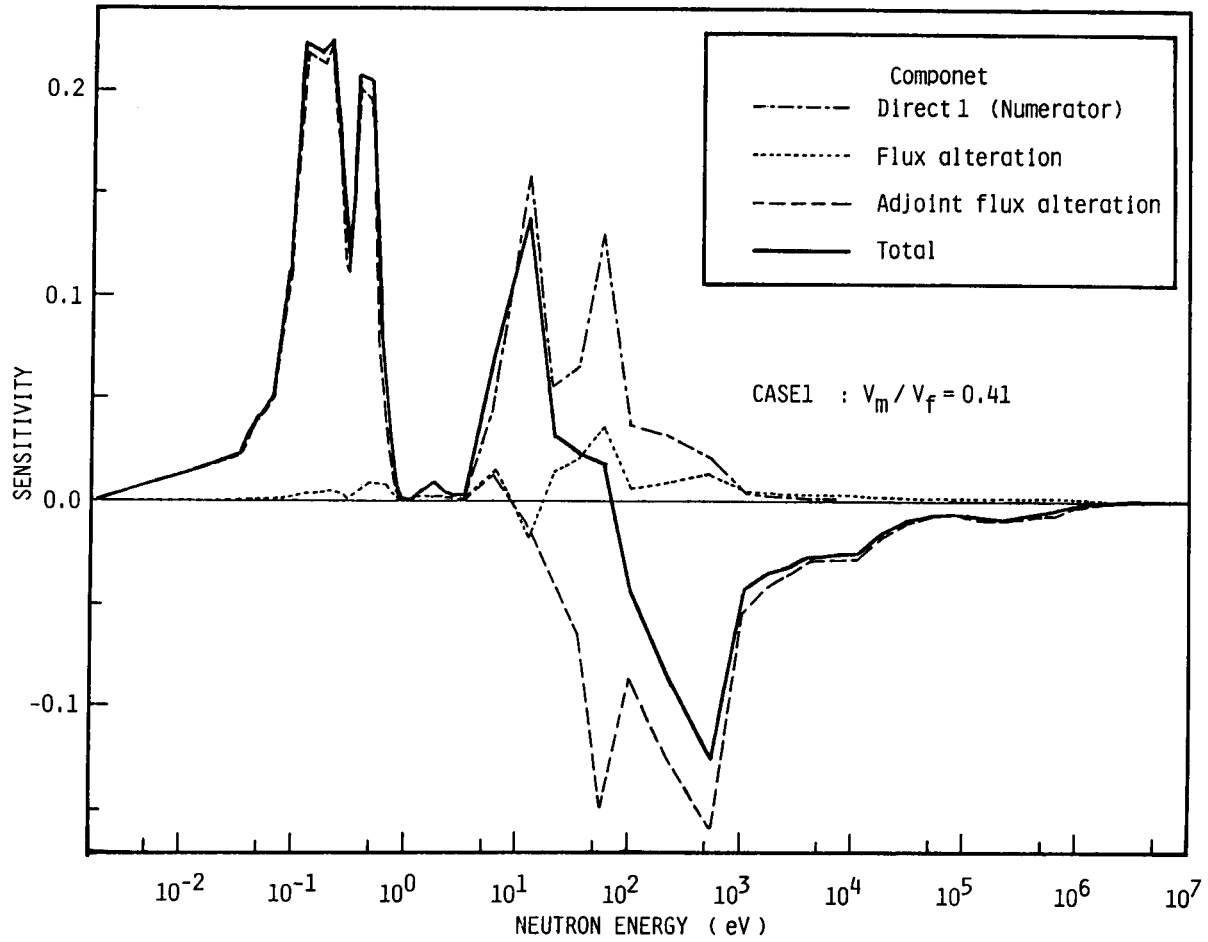


図2 冷却材ボイド反応度の²³⁹Pu捕獲断面積に対する成分別感度のエネルギー依存性