

高速炉と軽水炉の被覆管の違いと核特性への影響

千葉豪

平成 26 年 6 月 3 日

軽水炉の被覆管にはジルカロイが用いられるが、高速炉には SUS が用いられる。ジルカロイは、含まれるジルコニウムの熱中性子吸収断面積が小さいため、中性子経済の観点から軽水炉で用いられている。一方 SUS は、耐照射特性が高いため燃焼度が高い高速炉に用いられている。本稿では、被覆管の違いが核特性に与える影響を定量的に評価する。

ジルカロイと SUS の巨視的吸収断面積を Fig. 1 に示す。熱中性子エネルギー領域ではジルカロイの吸収断面積が一桁程度小さい。この違いは、ジルコニウム、鉄の断面積の違いとともに、それらの密度の違いにも由来する。ジルコニウムと鉄の物性値を Table 1 に示す。密度を原子量で割った数値は体積あたりの数密度を示すが、その値が鉄では二倍となっている。すなわち、SUS はジルカロイと比較して含まれる原子の数密度がおおよそ二倍であり、それも巨視的断面積の差に影響していることが分かる。なお、断面積の図において、1MeV を越えるエネルギーで SUS の吸収断面積が増加しているのは、(n,g) 反応以外によるものである。

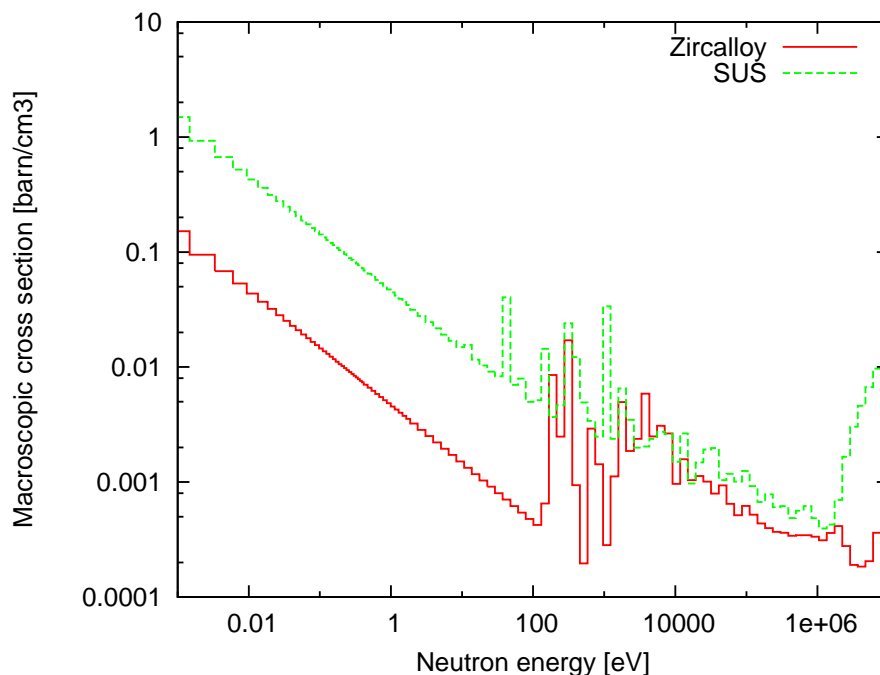


Fig. 1: Macroscopic absorption cross section

はじめに、PWR の燃料ピンセルを考え、被覆管としてジルカロイもしくは SUS を用いた場合の実効増倍率を衝突確率法により計算した。U-235 の濃縮度として、3.4%、4.1%、4.7% の 3 ケースを考えた。なお、ピンセルの形状は被覆管の材質に関わらず一定とした（被覆管材質の温度特性、強度特性の違いにより、必要とされる被覆管の肉厚は異なると考えられるが、そういったこ

Table 1: Material property of Zr and Fe

	Density (kg/m ³)	Atomic mass	Density/ mass
Zr	6511	91.2	71.3
Fe	7874	55.6	141.6

とはここでは無視した)。結果を Table 2 に示す。この結果より、被覆管の材質の差が臨界特性に大きな影響を与えることが分かる。

Table 2: Infinite multiplication factor of PWR pincell

Cladding material	U-235 enrichment		
	3.4%	4.1%	4.7%
Zircalloy	1.26296	1.30775	1.33735
SUS	1.10654	1.16350	1.20227

被覆管のジルカロイから SUS への置換を摂動と見做し、その反応度を摂動計算により得た (U-235 濃縮度は 4.1%)。その結果、摂動反応度における支配的な因子は吸収断面積の変動によるものであることが分かった。摂動反応度の吸収成分を Fig. 2 に示すが、熱中性子領域での影響が支配的であることが分かる。

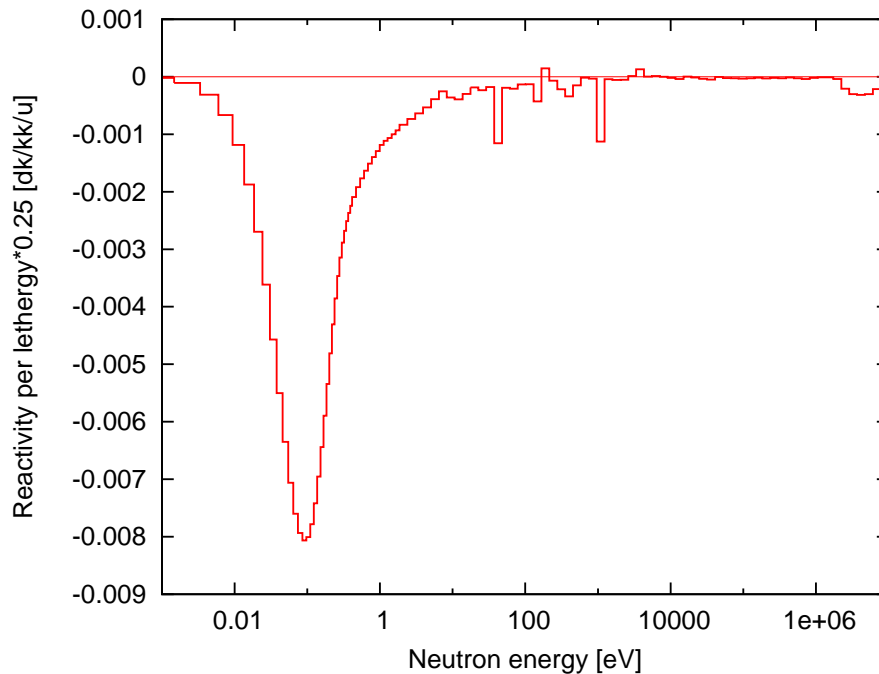


Fig. 2: Energy-group wise reactivity effect due to difference in cladding material

次に、同様の計算をもんじゅの燃料ピンセルで行った。ここでは、燃料の Pu-fissile 富化度として 3 種類を考えた。Pu の同位体組成は、Pu-239、-240、-241、-242 でそれぞれ 58%、24%、14%、

4%とした。無限増倍率の結果を Table 3 に示す。ジルカロイを用いた方が無限増倍率は大きくなるが、その程度は軽水炉ピンセルほど大きいものではないことが分かる。PWR セルと同様に摂動計算により被覆管材質の差異の要因を検討したところ、吸収成分と散乱成分とが同程度となった。散乱成分については、ジルカロイの数密度が小さいこと、また、ジルコニウムの原子量が大きく弾性散乱による減速幅が小さいことから、ジルカロイの中性子散乱効果が SUS よりも小さく、正の反応度効果となったと考えられる。

Table 3: Infinite multiplication factor of Monju pincell

Cladding material	Pu-f enrichment		
	13.0%	16.0%	19.0%
Zircalloy	1.42950	1.57828	1.70597
SUS	1.37695	1.52384	1.65046