

随伴中性子束と制御棒価値¹

2018/7/16 改訂 千葉 豪

KUCA の C35G0-4 列炉心の臨界体系における中性子束分布をエネルギー二群の拡散計算で求めた。炉心中心軸上での X 方向の中性子束分布を Fig. 1 に示す。なお、 $x = 0$ を中心位置とし、炉心燃料領域は $x < 19$ 、それ以降は反射体領域である。

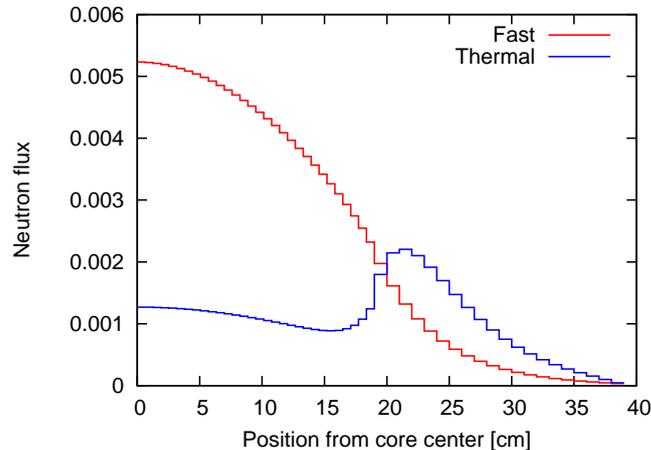


Fig. 1: Spatial distribution of neutron flux

ここで、制御棒を炉心内に挿入する場合に、どの位置に挿入すれば効果的かについて考えよう。中性子の吸収量は断面積と中性子束の積で与えられることから、中性子束のレベルが高い位置に制御棒を挿入すれば中性子の吸収量を高めることができ、効果的であると考えられる。従って、

- 炉心領域では高速中性子のレベルが高いため、熱中性子よりもむしろ高速中性子をよく吸収する制御棒を挿入するほうがよい。
- 熱中性子束は炉心領域よりも反射体領域 ($x = 20$ 周辺) のレベルが高いため、熱中性子を吸収する制御棒ならば、炉心領域よりも反射体領域に挿入するほうがよい。

と考えられる。

それでは、次に制御棒の挿入により、失われた（吸収された）中性子の「影響の大きさ」について考えよう。ここではイメージを容易にするため、制御棒の挿入により中性子が逆に「生成される」と考えることとする。つまり、制御棒を、「挿入された位置での中性子レベルに比例して中性子を生み出すもの」と見做す。

例えば、高速中性子をよく生成する制御棒を炉心領域に挿入したとする。このとき、発生した高速中性子はどのような一生を辿るであろうか。体系から漏れてしまうもの、燃料中の U-238 に共鳴吸収されてしまうものなどがあり、減速されて炉心領域で核分裂に寄与するものはその一部であろう。一方、熱中性子をよく生成する制御棒を炉心領域に挿入したとする。この場合、制御棒から発生した熱中性子の大部分は、そのまま核分裂を起こすであろう。そのように考えると、「影響度」の観点からは、高速中性を生み出す制御棒よりも、熱中性を生み出す制御棒の方が優れていると考えられる。

制御棒の挿入位置についても同様の議論が行える。反射体領域に挿入した制御棒から発生した熱中性子は反射体領域で吸収されたり、体系から漏れたりするため、燃料領域で核分裂を起こすのはその一部であろう。一方、燃料領域の制御棒から発生した熱中性子の大部分は、そのまま核分裂を起こす確率が高いであろう。

以上より、制御棒の「効き方」の大小は、制御棒の挿入位置における中性子束レベルの大きさに比例するとともに、その挿入位置における「影響度」の大きさにも比例すると言える。

中性子輸送（拡散）方程式の随伴方程式の解、すなわち随伴中性子束が、この「影響度」に対応する。従って、随伴中性子束は重要度関数、インポートランスとも呼ばれる。

¹/Document/KUCA/Adjoint/

KUCA の同じ体系についての随伴中性子束を Fig. 2 に示す。これより、炉心領域では高速中性子よりも熱中性子のインポートランスが高いこと、熱中性子については反射体領域よりも炉心領域のインポートランスが高いことが分かる。

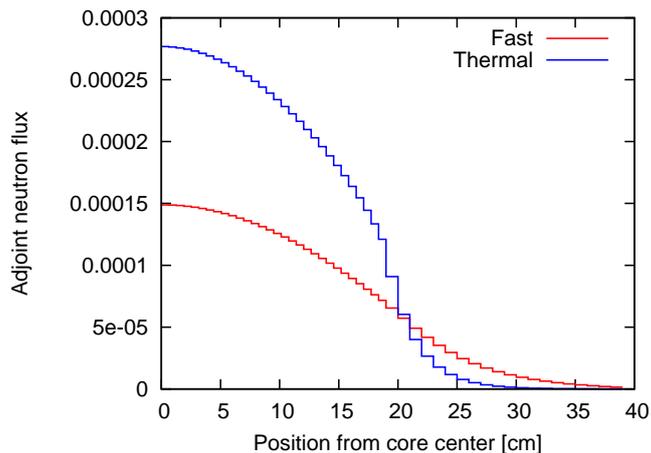


Fig. 2: Spatial distribution of adjoint neutron flux

以上の議論で、制御棒の効き方は、中性子束と随伴中性子束の積に比例することが分かった。KUCA の同じ体系について、中性子束と随伴中性子束の積を Fig. 3 に示す。なお、炉心領域では高速中性子のレベルが高いが、一般に原

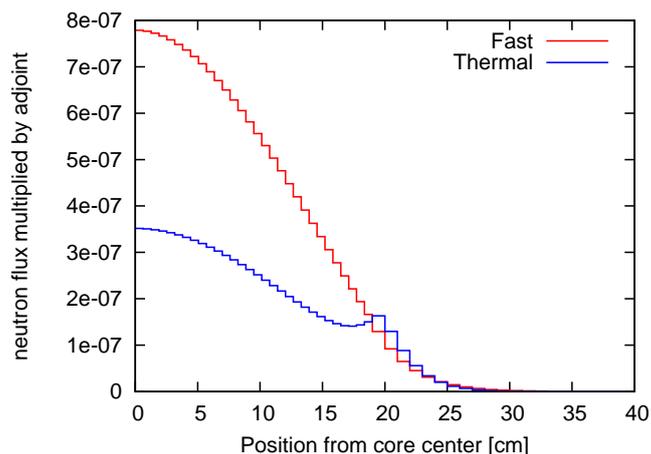


Fig. 3: Spatial distribution of neutron flux multiplied by adjoint

子核の中性子捕獲断面積は高エネルギーで小さくなるため、熱中性子炉での制御棒の吸収は熱中性子が支配的となる。