

## 検出器インポートランスで加重平均された未臨界増倍率の検証

名古屋大学工学部 物理工学科 量子エネルギー工学コース 菅原 慶

### 序論

日本の一次エネルギーの自給率は4%と非常に低い水準となっており、日本は石油危機に代表されるエネルギー情勢の影響を受けやすいといえる。このような状況の中で高速増殖炉(FBR)が注目を浴びている。FBRの実用化のためには原型炉「もんじゅ」を用いた実証実験が必要不可欠であり、その一つに未臨界起動前炉物理試験がある。これは、従来は臨界状態で行われていた炉物理試験を広い範囲の未臨界状態で行うことで、正確な反応度値測定を目指すものである。しかし、未臨界の体系を測定して求められる増倍率は中性子源や検出器の位置による影響を受ける。このため、実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  の正確な測定を行うには検出器位置を適当に決定する必要があるが、実際の炉心では検出器の位置が固定されているなどの理由で位置の自由度が低い場合が多い。そこで未臨界度測定法の一つである修正中性子源増倍法(MSM法)は、検出器と中性子源に関する補正項を導入することで、 $k_{\text{eff}}$  を求めている。この補正係数を、検出器の位置依存性を表している関数である検出器インポートランスを用いて表現することで、より明確に検出器位置依存性を評価できる可能性がある。本研究では、単純な体系における検出器インポートランスで加重平均された未臨界増倍率  $k_{\text{det}}$  の解析解を求め、 $k_{\text{eff}}$  および未臨界増倍率  $k_{\text{sub}}$  と比較を行うことで検出器インポートランスの効果を検証した。

### 検出器インポートランス<sup>[1]</sup>

検出器インポートランスは、体系のある位置に1つの中性子が存在する場合に、検出器に検出される中性子の数の期待値である。Fig.1 に検出器インポートランスの例を示す。増倍系を含む全ての中性子のうち検出器に検出されるものの数であることから、検出反応が起き易い検出器周辺はもちろん、炉心内部でも検出器インポートランスは高くなる。

### $k_{\text{det}}$ の理論式<sup>[2]</sup>

$k_{\text{eff}}$  が体系の組成のみで決まるのに対して、 $k_{\text{sub}}$  は体系の実際の中性子束についての生成と消滅の比をとることで中性子源による効果も加味した中性子増倍率となっている。さらに  $k_{\text{det}}$  は、未臨界増倍率の分子、分母の各項を検出器インポートランスで加重平均するため検出器の位置や種類にも依存した増倍率である。

### 計算条件

$k_{\text{det}}$  の位置依存性を評価するため核分裂性物質を含む炉心を反射体である水が囲んでいる無限平板体系を用いた。エネルギー群は2群である。計算は炉心の幅および断面積をそれぞれ変化させた  $k_{\text{eff}}$  の異なる3通りの体系について行った。外部中性子源および検出器位置を変化させた場合の  $k_{\text{det}}$  の変化を調べ、 $k_{\text{eff}}$  と  $k_{\text{det}}$  の関係を求めた。

### 結果と考察

Fig.2 から中性子源および炉心から検出器までの距離が広がると、 $k_{\text{det}}$  は収束性を示すことがわかった。 $k_{\text{det}}$  は検出器インポートランスで加重平均されることで検出反応の起き易い領域の情報が優先して反映されるため、炉心および中性子源の影響が飽和することで収束性を示したと考えられる。Table.1 は実効増倍率の異なる体系で中性子源を炉心中心におき、検出器位置を変化させた場合の  $k_{\text{det}}$  の収束値である。実効増倍率が小さくなるほど  $k_{\text{det}}$  と  $k_{\text{eff}}$  のずれが大きくなっていることがわかる。このことから、未臨界の深い体系では、検出器の位置を適当に決める必要があることがわかる。

### 今後の課題

中性子源増倍法によって求められる増倍率と  $k_{\text{eff}}$  の関係を調べ、検出器インポートランスを用いて MSM 法の補正係数を表す糸口としたい。

[1]ジェームス J. ドッデルスタット, ルイス J. ハミルトン著, 成田正邦, 藤田文行共訳, “原子炉の理論と解析(上)”, 現代工学社(1991), pp.222-223.

[2]遠藤知弘, “空間及び中性子エネルギーを考慮した三次中性子相関法による未臨界度測定法の研究”, 名古屋大学博士論文, (2007).

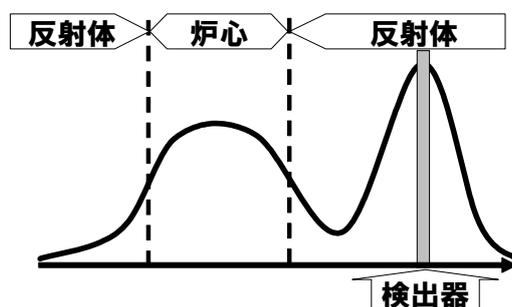


Fig.1 検出器インポートランスの例

$$k_{\text{det}} = \frac{\int_V dV \int_0^\infty dE \nu(\vec{r}) \Sigma_f(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) I_f(\vec{r})}{\int_V dV \int_0^\infty dE \nu(\vec{r}) \Sigma_f(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) I_f(\vec{r}) + \int_V dV q(\vec{r}) S(\vec{r}) I_s(\vec{r}, E)}$$

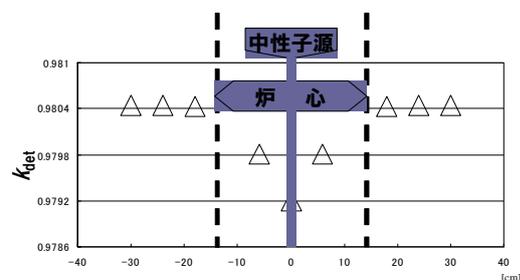


Fig.2 炉心中心から検出器までの距離と  $k_{\text{det}}$  の関係

	$k_{\text{eff}}$	$k_{\text{det}}$
Model 1	0.980	0.980
Model 2	0.950	0.953
Model 3	0.800	0.841

Table.1  $k_{\text{det}}$  の収束値