

## 仮想中性子源法及び Discrete Ordinate CIP 法を適用した遮蔽計算手法の研究

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 中野幸太郎

**序論** 原子炉施設を設計する際には、原子炉から漏洩する放射線が公衆に影響を及ぼすことがないように、放射線束の線量分布を計算機で見積もり、法令で定められた線量を超えることがないように構造材の材質及び幾何形状を設計する。このシミュレーション計算は遮蔽計算と呼ばれ、精度の高い遮蔽計算を行うことで、安全かつ経済的な原子炉施設の設計を実施することができる。そこで本研究では、仮想中性子源法と Discrete Ordinate CIP法に注目し、それら2つを組み合わせることで高精度な遮蔽計算手法の確立を目標とした。

**Discrete Ordinate CIP法** 一般的に中性子束  $f(r, \vec{\Omega})$  は、中性子輸送方程式(1)を解くことで得ることができる。ここで、 $\Sigma_t$  は全断面面積、 $Q$  は中性子源である。しかし式(1)は解析的に解くことが困難なので、式(1)における空間についての変数  $r$  を離散化して近似的に解くことになる。ここで Discrete Ordinate CIP法では、式(1)と、式(1)を空間に関する変数で1階微分した式(2)の連立微分方程式を解く。式(2)は中性子束の空間勾配  $\partial f(r, \vec{\Omega}) / \partial r$  が従う微分方程式であり、式(2)を解くことで中性子束の空間勾配を考慮することができる。これにより  $f(r, \vec{\Omega})$  の空間依存性を3次関数で取り扱うことができるため、精度よく解を得ることができる。

$$\vec{\Omega} \frac{\partial f(r, \vec{\Omega})}{\partial r} + \Sigma_t(r) f(r, \vec{\Omega}) = Q(r, \vec{\Omega}) \quad (1)$$

$$\vec{\Omega} \frac{\partial^2 f(r, \vec{\Omega})}{\partial r^2} + \Sigma_t(r) \frac{\partial f(r, \vec{\Omega})}{\partial r} = \frac{\partial Q(r, \vec{\Omega})}{\partial r} \quad (2)$$

ここで Discrete Ordinate CIP法では、式(1)と、式(1)を空間に関する変数で1階微分した式(2)の連立微分方程式を解く。式(2)は中性子束の空間勾配  $\partial f(r, \vec{\Omega}) / \partial r$  が従う微分方程式であり、式(2)を解くことで中性子束の空間勾配を考慮することができる。これにより  $f(r, \vec{\Omega})$  の空間依存性を3次関数で取り扱うことができるため、精度よく解を得ることができる。

**仮想中性子源法** 実際の遮蔽計算を考えると、原子炉(中性子源)に向かう方向の飛行中性子数は少なく、原子炉から炉外に向かう方向の飛行中性子数の方が多い。つまり、ある地点における中性子束は中性子の飛行方向(角度)に依存した分布を持つことになる。従って、中性子束の角度分布を得るためには、式(1),(2)において中性子飛行方向の変数  $\vec{\Omega}$  も離散化して解く必要がある。しかし、本来連続的に変化する中性子束の角度分布を離散化すると、中性子束の空間分布に射線効果と呼ばれる望ましくない現象が生じる。射線効果とは、 $\vec{\Omega}$  を離散化したことにより、離散化した方向には多くの中性子が飛行するが、その他の方向については中性子がほとんど飛行しないことに起因して、中性子束の空間分布に不自然な振動が生じる現象のことを指す。Fig.1 で示した従来法の計算結果には射線効果が大きく現れている。仮想中性子源法では、適切な中性子束の角度分布を再現するように、中性子を過小評価する方向には中性子を発生させ、過大評価する方向の中性子を吸収するという”仮想的な”中性子源を設定することにより、射線効果による影響を大幅に低減する手法である。

**結果およびまとめ** 注目すべき点は、射線効果を打ち消すために設定する仮想中性子源は、中性子束の空間勾配により定義されることである。つまり、Discrete Ordinate CIP法により得られる中性子束の空間勾配を用いて仮想中性子源を計算することで、効率的に精度のよい遮蔽計算を実施することが期待できる。そこで、本研究ではこれら2つの手法を組み合わせた遮蔽計算手法の検討を行った。本手法による検証計算の結果をFig.1 に示す。Fig.1 における従来法による計算結果を見ると、中性子束の空間分布には射線効果による振動が見られる。一方、本手法による計算結果を見ると、射線効果による影響は観察されない。以上のことから、本研究によって、2つの計算手法を組み合わせることで、精度のよい遮蔽計算が可能になることを確認した。

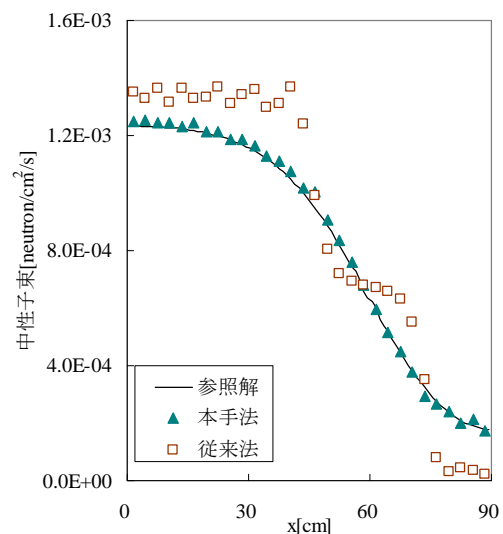


Fig.1 検証計算結果