

ロバスト設計に基づく燃料配置の理論的な検討

量子エネルギー工学コース 大堀和真

要約 炉心計算の予測精度向上を目的として、炉心設計にロバスト設計を適用した。本研究では、炉心のロバスト性を高次モード固有値間隔を用いて評価することで、計算誤差の顕在化しにくい燃料配置の条件について検討を行った。

1. 序論 炉心計算の予測精度向上は炉心の経済性や環境への負荷低減の観点から重要であり、今まで様々な検討が行われてきた。これらの検討では予測精度を向上させるために、計算モデルの高精度化、計算値の補正といった方法がとられてきたが、さらなる予測精度向上を実現するためには、これらとは異なる新しいアプローチが必要となると考えられる。そこで本研究では、新たなアプローチとして、ロバスト設計に着目した。ロバスト設計とは、設計パラメータを適切に定めることで、誤差要因に対して出力のばらつきがでにくい(ロバスト性の高い)システムを構築する設計方法である。ロバスト性の高いシステムでは、誤差要因が存在したとしても理想機能を保つことができるため、従来とられてきた方法と組み合わせることにより、さらなる予測精度向上が期待できる。本研究では、このロバスト設計の設計概念に基づき、計算誤差が顕在化しにくくなる燃料配置を検討した。

2. 高次モード固有値間隔 本研究では、炉心のロバスト性を評価する指標として高次モード固有値間隔に着目した。第*i*次モード固有値間隔($E.S.$)_{*i*}は式(1)のように定義される。高次モード固有値間隔は出力の変動と反比例の関係にあり、過去の研究において大型炉心の出力分布変動の定量評価に用いられている^[1]。このことから、出力の変動を小さくすることを目的とするロバスト設計においても、炉心のロバスト性を評価する指標として高次モード固有値間隔を用いることが可能であると考えられる。

3. ロバスト性の高い燃料配置条件の検討 高次モード固有値間隔は出力変動の関係から、固有値間隔が広がれば炉心のロバスト性が向上すると期待できる。そこで、本研究では固有値間隔の異なる複数の炉心の出力分布を比較することで、ロバスト性の高い燃料配置に求められる条件について検討した。まず、設計対象を3ループPWR炉心とし、同じ燃料集合体構成で作られる燃料装荷パターンを100パターン用意した。次に、これらの炉心の固有値間隔および出力分布を計算し、固有値間隔の広い炉心と狭い炉心の出力分布を比較した。その結果、特定のモードの固有値間隔が広い炉心の出力分布には、そのモードの固有関数の零点付近で出力が高く、固有関数のピーク位置付近の出力が低く抑えられるという傾向があることがわかった。例として、用意した燃料集合体のうち、第1次モード固有値間隔の最も広い炉心(Case1)と最も狭い炉心(Case2)の出力分布をそれぞれ図1、図2に示す。図1、2は1/4炉心における出力分布を表している。最も第1次モード固有値間隔の広い炉心では、図1に示すように、第1次モード固有関数の零点である炉心中心付近で出力が高く、第1次モード固有関数のピーク位置である炉心外周部で出力が低くなっている。一方で、図2に示した固有値間隔の狭い炉心では、炉心中心付近の出力が低く、炉心外周部の出力が高い。

より出力の変動に強い影響を与えるモードは最も固有値間隔の狭い第1次モードであるから、炉心のロバスト性を高めるには第1次モード固有値間隔を広げる必要がある。つまり、炉心のロバスト性を高めるには、図1に示した炉心のように炉心中心で出力が高く、炉心外周部で出力を低くなるような燃料配置をとることが求められる。

4. 検証計算 上述の計算誤差の顕在化しにくい燃料配置の条件に関して、その妥当性を評価した。計算体系は図1および図2に示した炉心である。まず、炉心のあるひとつの燃料集合体の巨視的核分裂断面積を微小変化させ、断面積変化による出力変動を拡散計算コードを用いて数値的に求めた。この操作を全ての燃料集合体に対して行い、それらの出力変動の二乗平均平方根および炉心内の最大出力変動を求めた。その結果を表1に示す。表1より、Fig.1に示した炉心のほうが、Fig.2に示した炉心よりも二乗平均平方根および最大出力変動ともに抑えられていることが分かった。この結果は、3章で示した燃料配置条件が妥当であることを示している。

5. 結論 本研究では、高次モード固有値間隔を基に炉心のロバスト性を評価した。その結果、炉心のロバスト性を高めるためには、炉心中心で出力が高く、炉心外周部で出力を低くなるような燃料配置をとるべきであることがわかった。

参考文献1) 橋本憲吾, "空間高次モードによる大型炉心デイクップリング現象の解析," 博士論文, 名古屋大学 (1995).

$$(E.S.)_i = \frac{1}{k_i} - \frac{1}{k_0} \quad \begin{array}{l} k_i: \text{第}i\text{次モード固有値} \\ k_0: \text{基本モード固有値} \end{array} \quad (1)$$

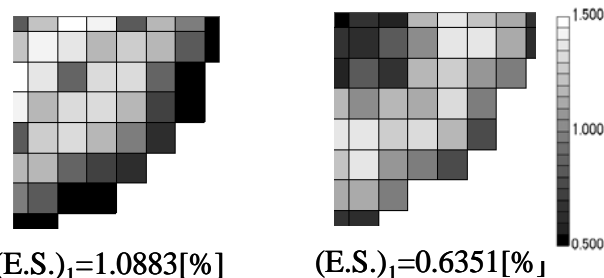


図1 固有値間隔が最大の炉心の出力分布(Case1) 図2 固有値間隔が最小の炉心の出力分布(Case2)

	二乗平均平方根[%]	最大出力変動[%]
Case1	2.2845	3.0135
Case2	2.6878	3.6511