

< 炉物理夏期セミナー若手研究会報告 1 >

未臨界体系における IK 法を用いた未臨界モニターの適用性に関する研究

副題

未臨界体系での動的手法による負の反応度測定

—統計的ゆらぎの影響—

東京工業大学大学院 関本研究室 博士課程 1 年 岩永宏平

[緒言]現在、一点炉近似に基づいた反応度（未臨界度）測定は、原子炉、核燃料施設等の臨界安全管理に用いられており、原子炉起動時の反応度や、深い未臨界度の燃料集合体系の監視などがその例としてあげられる。本研究は、臨界付近で運転される原子炉の未臨界度の計測に関するものである。未臨界度は原子炉動特性方程式に基づき、炉出力値を用いて未臨界度を導出する IK 法（逆動特性法）を用いた。この手法は、反応度と中性子源強度が一定であれば、出力が一定になることを待たずに、反応度を導出できるメリットがある。

IK 法は一般的に反応度計等の原理に用いられているが、未臨界の運転条件下での原子炉クラス体系において、未臨界度と外部中性子源を同時に測定する運転系モニターの原理として組み込んだ例は少ない。よって未臨界度の深さに応じた導出精度や、従来の IK 法のデータ処理の適用性について検討する必要がある。

[目的]IK 法の主な特徴としては、

- ① データ取得区間が非常に短くても、反応度が一定となった場合には、出力が変化していても未臨界度導出が可能となる。
- ② 見かけの未臨界度と出力の時系列分布より、その体系の未臨界度と中性子源強度を回帰直線を用いた最小二乗法で一義的に得ることができる。

上記 2 つであるが、この特徴も、炉出力が小さくなると、当然、測定値の統計精度が低下し、その結果、未臨界度測定の精度を低下させる要因となる。また、未臨界度導出精度に関しても、導出に用いる各々検出器の統計的ゆらぎの影響の検討が必要となる。

本研究では、以下のことを目的として研究を進めた。

- ① : IK 法を用いて高精度で未臨界度、中性子源強度を測定する。
- ② : IK 法のうち、最小二乗法 (LSQ) によって未臨界度、中性子源強度導出を行う方法を用いた場合、未臨界度が深くなった場合の統計精度の低い出力値を用いることのできる回帰分析モデルの検討と IK 法自体の適用性を調べる。

統計的ゆらぎの影響については、IK 法の従来のデータ処理法に加え、新たに出力等の誤差伝播を加味し、最小二乗法での尤度を評価できる式の適用性も検討する。

[実験概要] 実験は、原研 F C A において濃縮ウラン(93%)と SUS から成る高速炉体系で行った。図 1 に炉内に装荷した Cf252 中性子源と U235 核分裂計数管(P1、M4、M5、M8)の位置を示す。これらの計数管に加え、炉外核計装線形出力系(電離箱 ch5)も用いた。反応度は、未臨界体系($k=0.9998$)に対し、ステップ状に -5.5% 投入した。図 2 に反応度印加後の各検出器での計数時系列分布を示す。この時系列分布から、(1)板垣らの方法⁽¹⁾、(2)田村の方法⁽²⁾及び(3)西原らの方法⁽³⁾に基づいて、未臨界度 ρ (\$)、中性子源強度 $S^{**}(\text{n/sec})$ を求めた。

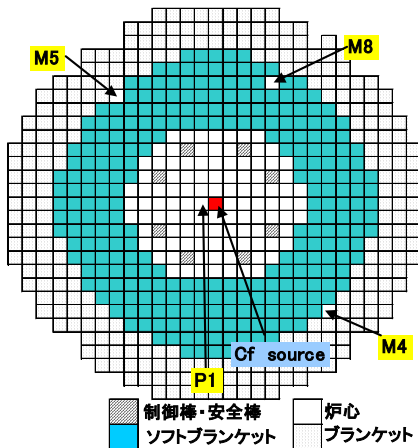


図 1. 炉心内検出器配置

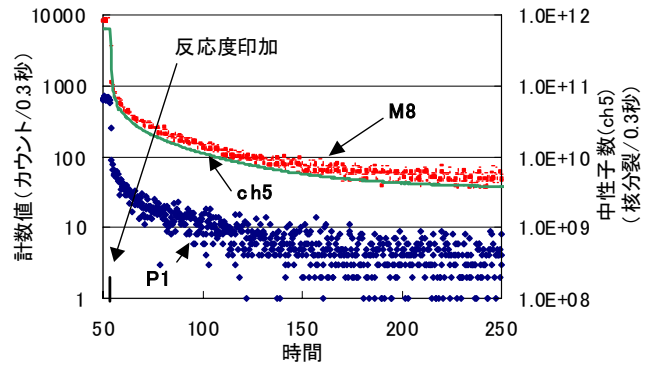


図 2 - 5.5\$ 反応度印加後の検出器データの時系列変

【結果】 検出器毎に各手法によって得られた ρ と S を表 1 に示す。最も計数率の高い ch5 を用いた結果では、 ρ は 1% 以内、 S は 0.8% 以内で一致する。一方、最も計数率の低い P1 検出器による結果では、 ρ は手法(1)と(3)で 0.3% しか相違しないが、手法(2)と(3)では 4% 異なる。 S は手法(1)と(3)で 0.7%、(2)と(3)で 6% の相違がある。この原因は、検出器の計数率が低いために、計数のゆらぎが正規分布からずれるためだと考えられる。次に、手法を一定にして検出器間で結果を比較すると、 ρ で 16~21%、 S で 13~19% の相違があるが、この相違に関する詳細な検討は今後の課題である。

今回の検討では検出特性と位置が異なる検出器 ch5、M8、P1 に対する手法の依存性はデータ処理を最適に行うことで、導出値の広がり を最大 5% の範囲に抑えることができた。また P1 ような統計精度の低い出力を回帰分析する場合には尤度を考慮した解析(3)が有効であり、図 3 に示すように出力の統計精度に応じた評価が可能となった。また、炉内の小型検出器を用いた未臨界度測定の可能性を示すことができた。

表 1. 検出器ごとの IK 法による未臨界度と中性子源強度の導出結果

	Ch5		M8		P1	
	ρ (\$)	$S^{**}(\text{n/s})$	ρ (\$)	$S^{**}(\text{n/s})$	ρ (\$)	$S^{**}(\text{n/s})$
板垣の方法(1)	-5.60	4.69E+08	-6.10	4.86E+08	-6.53	5.29E+08
田村の方法(2)	-5.60	4.69E+08	-6.13	4.89E+08	-6.77	5.54E+08
西原の方法(3)	-5.55	4.64E+08	-6.04	4.80E+08	-6.55	5.27E+08
	$\pm 0.090(\%)^*$	$\pm 0.103(\%)^*$	$\pm 1.322(\%)^*$	$\pm 1.541(\%)^*$	$\pm 4.490(\%)^*$	$\pm 5.211(\%)^*$

*) 90%信頼区間の広がり を示す。 **) 表中 S の単位は核分裂/秒に対するものである

[参考文献]

- (1)板垣、北野 日本原子力学会 1999 年春の年会[G20]、
- (2)田村 日本原子力学会 2001 年秋の大会 [I58]、(3)西原、他 日本原子力学会 2002 年春の年会

本研究のデータは原研 FCA 山根氏 岡嶋氏、両氏の協力により得られたものである。

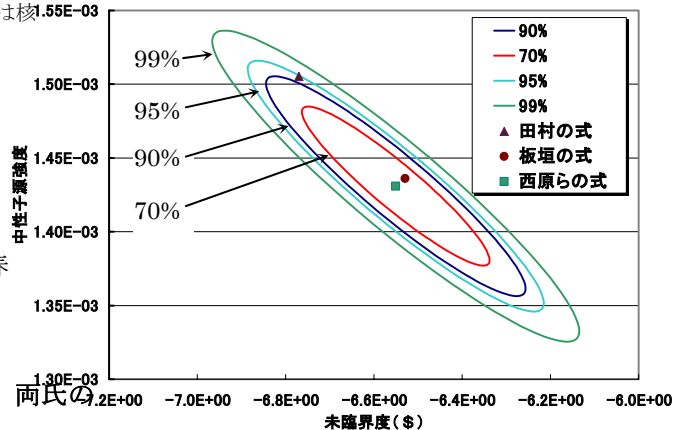


図 3. 出力誤差を考慮した反応度と中性子源強度の評価