制御棒校正における改良落下法

富井 格三*, 石井 敏雄*,
大友 正一*, 宮地 謙吾*

(1977年 7月20日 受理)

Improved Rod Drop Method for Rod Worth Measurement

By Kakuzō TOMII, Toshio ISHII,
Shōichi ŌTOMO and Kengo MIYACHI

KEYWORDS: improved rod drop method, shut down decay curve, control rod worths, neutron flux distortion, detector location, reactivity computer, accuracy, measuring methods, control elements, reactor kinetics

落下法による制御棒校正は、これまで中性子束分布のゆがみのために精度良い測定ができない欠点を有していたが、この欠点を解消できる改良法を見出し、NSRRにおいてこれを検証した結果、簡便で精度のよい良好な制御棒校正ができたので報告する。

制御棒1本の等価反応度測定などのように比較的大きな反応度測定の場合、落下法が簡便で有用な方法であることは周知のとおりである。しかし、従来の落下法は、検出器をどこに置くかによって測定値に差異が生ずる場合が多く、測定値の信頼性に難があった。この難点は、制御棒落下前の臨界時中性子束分布と制御棒落下によって歪んだ中性子束分布との間に有意の差異があるためであり、臨界時の計測と落下後の計測とから反応度を得る従来法では、避けられない問題点であった。

この問題を克服するため、Gozani ら⁽¹⁾や金子ら⁽²⁾が行なったような、炉内に多くの検出器を配置して得た計測値と各配置場所の中性子束との炉内荷重平均を行うなどの試みがなされている。しかし、この多点測定では、臨界実験装置のように炉内変更が容易な場合には実施できるが、通常の炉では実施不可能であったり、多くの労力を必要とするなどのため現実的ではなく、ほかに良い方法が見出されていないのが現状であった。

1. 本改良落下法による制御棒校正法

本改良法の特徴は、従来法のように制御棒落下前後

の計測から反応度を求めるのではなく、落下後の中性子束分布が歪んだあとの計測のみで反応度を得るようにしたところにある。炉内中性子束分布は制御棒落下とともに歪むが、落下完了後のごく短時間のうちにこの分布は歪んだあとの基本モードのみの分布に落ち着くと考えられるから、落ち着いたあとは炉内のどの位置にあっても出力減衰曲線の形状が同じになる。この形状は、落下前の臨界時に充分な運転時間をとって遅

発中性子先行核を飽和させておけば、常に落下時の負の反応度挿入量と1対1対応したものとなる。したがって、検出器をどこに置いてこの減衰曲線を正しく知りさえすれば、反応度挿入量は常に正しく求められる。

この減衰曲線を測定する方法は従来法と全く同じで、1個の検出器を炉内の任意の場所に置くだけで充分であり、加えて従来法のように臨界時の計測は不要である。ただし、曲線形状をいかに正しく測定するかがこの方法の要点となり、これについては後述する。

制御棒落下後いつごろから中性子束分布が基本モードのみとみなせるようになるかは、従来法の測定で事実上落下と同時に考えて無視できたと同じように、本改良法でも考慮の対象となるものではない。

減衰曲線の形状から反応度を知るには、あらかじめ反応度挿入量に対する減衰曲線を計算で求めておき、測定した曲線をその計算曲線群と対比すればよい。実際には曲線自身で比較するのでは誤差の入る余地が大きいので、計算によって得た曲線群から落下後1 sec, 2 sec……等の値に対する、5 sec, 10 sec……等の値の比を挿入反応度をパラメータとして求めて図表化し、測定曲線から同じ比を求めれば、直ちに反応度が得られる。NSRRについて作成した計算図表の1例は第1図のとおりである。なお、計算曲線群はここでは1点近似の計算コードEXCURSによって求めた。したがって、計算自体の誤差は1点近似動特性で評価する従来法と同じである。

* 日本原子力研究所 (Japan At. Energy Res. Inst.)

負反応度投入後1 sec 後の出力 $n(t_0)=n(1)$ に対する
5 sec 後, 10 sec 後……の出力 $n(t)$ の比 (図の実線)
5 sec 後の出力 $n(t_0)=n(5)$ に対する $n(t)$ の比 (図の点線)
(計算コード 1 点近似 EXCURS による。 β, λ, l は
NSRR の設計値を使用)

第1図 負反応度投入量に対する
出力減衰量計算図表

2. 本改良落下法の実験的検証結果

本改良落下法が予想どおり有効な方法であることを実際に NSRR の安全棒 S-2 について検証したので、次にその結果を示す。

NSRR は 6 本の調整棒, 2 本の安全棒, 3 本のトランジェント棒を持ち, これらの制御棒は互いに干渉し, 制御棒落下によって炉内中性子束の歪みが顕著に現れる。ちなみに従来法の測定例として, この検証のデータから同時に得られた結果を示すと第2表のとおりとなり, 検出器の位置を変えることによって測定値にかなりの差異が現れることがわかる。

第2図は, この測定で得られた減衰曲線群と NSRR で用いている反応度計の指示記録例である。この図からもわかるとおり, 検出器位置が制御棒に近い場合は落下直後の中性子束の落込みが大きく, 遠い場合は逆に小さくなり, これに対応して反応度計の指示も近い場合には大きく, 遠い場合には小さい値となっている。また, 落下後時間が経過すると, 中性子束の減衰は対数的にどれもほぼ平行になり, 反応度計の指示は実際の減衰が初めの落込みから予想される減衰とずれてくるため次第に変ってくる。このように従来法では測定値は検出器位置と時間経過によって変る。

しかしながら, この事実から問題解決の手掛りもまた知ることができる。1つはこの測定を繰り返して反応度計の指示が時間が経過しても一定となるような位

第2図 炉内検出器各位置における安全棒
S-2 落下時の出力減衰曲線測定結
果および反応度計指示値1例

置を見出せば, そのときの測定値が真値とみなし得るであろうとする方法である。しかし, この方法はかなり手間がかかる。もう1つは減衰曲線が片対数的に平行になることを利用する方法である。本改良法は後者に該当する。

第3図は, 第2図の各曲線を規格化したもので, 落下後1 sec もすれば高次モード成分はなくなると考え, 試みに1 sec 後の値を1とした場合を示した。その結果は図からわかるとおり, すべての曲線が予想どおり極めてよく一致した。

第3図 第2図の出力減衰曲線を落下後
1 sec の出力値で規格化した場合

実際の反応度測定値は測定に用いたレコーダ・チャ

ート上から第1図の縦軸に係わる値を3桁まで精度よく読み取り、第1図などから求めた。第1表はこの測定結果のうち、位置1の場合について示したものである。

第1表 本改良法による安全棒S-2の
等価反応度測定結果の1例

(単位: %)

位置	t_0 (sec)	t (sec)						
		5	10	15	20	25	30	平均
1	1	2.02	1.98	1.92	1.92	1.86	1.94	1.94
	2	2.11	1.93	1.87	1.84	1.84	1.90	1.92
	3		1.87	1.83	1.86	1.82	1.88	1.85
								平均 1.90

第1表の各測定値の精度は主にチャートの読取りに依存し、読取り1回当たり約1%程度、分母分子合せて約2%、反応度計算図表の読取りで2%程度、総合で5%以下と考えられた。したがって、第1表のすべての値を平均すれば極めてよい精度となる。換言すれば、1つのチャートから幾点かの読取りを行なって平均することが本方法を実施する上での要点となる。

前述の第2表が各測定位置ごとのこの平均値を示したものであり、従来法と比較対比して示す。この表のように、従来法では50%程度も測定値に差異があるのに対し、本改良法によれば事実上検出器位置の影響が解消されているのがわかる。また、この平均値自体についても設計値との比較から妥当な値と考えられた。

第2表 従来法と本改良法による安全棒S-2
の等価反応度測定結果の比較

(単位: %)

炉内検出器位置	$\rho(n(t)/N_0)$	$\rho(n(t)/n(t_0))$
位置1	2.43	1.90
位置2	1.70	1.92
位置3	1.63	1.91
位置4	1.79	1.92

N_0 : 臨界時出力

$n(t)$: 落下後 t sec 後の出力

$n(t_0)$: 本改良法の基準値(落下後 t_0 sec 後の出力)

$\rho(n(t)/N_0)$: 従来法による反応度測定値

$\rho(n(t)/n(t_0))$: 本改良法による反応度測定値

本改良法はこのように精度の高い測定ができるが、実施に当っては、①前述のようにチャートおよび図表

の読取りを3桁まで注意深く行う、②測定系には応答性のよいものを使用する、③チャート上の読取り2点間の差を大きくするように測定系レンジをあらかじめよく設定する、④反応度計算図の曲線傾斜がゆるやかな部分は読取り精度が落ちるので図表をほどよく作り直す、等の留意が必要である。

反応度が数%以上の極めて大きな反応度測定を行う場合は、チャート上で曲線がゼロに近づき読取りが難しくなるとともにゼロドリフトやオフセットの厄介な補正が必要となり、また図表の傾斜が緩やかになるため読取り誤差が増大する。NSRRでの測定経験では、3% $\Delta k/k$ 以上ではさらに検討の余地があることがわかった。しかしながら、このことが本改良法の基本的欠陥となるものではなく、装置の改良等により解決策は容易に見出せると思われる。

3. おわりに

制御棒校正の落下法について、検出器の位置を変えると測定値に差異が生ずる従来法の欠点は、ここで提案した改良法を用いれば実用上不満なく解消できることがわかった。

本改良法の実施方法は、検出器1本を炉内の任意の位置に置いて従来法と同様にして減衰曲線を求めるだけでよいので、至って簡便な方法である。しかし、精度の高い好結果を期待するためには、有効数字が3桁程度得られるように実施方法を充分吟味する注意が必要である。

NSRRにおいては、本改良法を用いて制御棒1本当りの反応度などの比較的大きな反応度測定を定常的に実施しており、常に再現性のよい結果を得ている。NSRR以外の各炉においても本方法の検証を期待し、各位のご意見、ご批判を賜われれば幸いである。

おわりに、本改良法について有益な助言を賜った反応度安全研究室の星 篤雄、大西信秋、斎藤伸三の各氏、実験の実施について絶えず協力を賜ったNSRR管理室、反応度安全研究室の諸氏に対し深甚なる謝意を表する。

—参考文献—

- (1) GOZANI, T.: *Nucleonik*, 5[2], 55~62 (1962).
- (2) KANEKO, Y.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, 12[7], 402~412 (1975).