

放射線分解ガスボイドによって揺らぐ臨界事故時放出エネルギーの平均的挙動

Average time profile of energy release fluctuated due to radiolytic gas void in criticality accident

*山根祐一
原子力機構

核燃料溶液の臨界事故で放射線分解ガスボイドによる激しい出力振動が生じる場合を対象とし、事故発生後の経過時間とその時刻までに添加された反応度などの関数として、核分裂により生じるエネルギーを表す式を、準定常法に基づいて導出した。実験値及び準定常法で得られたデータと比較し、実験値をよく再現することを確認した。

キーワード： 臨界事故、エネルギー、放射線分解ガスボイド、準定常法、定率反応度添加

1. 緒言 溶液の誤移送等により沸騰に至る臨界事故では、沸騰までに放射線分解ガスボイドによる激しい出力振動が生じることが、仏国のCRAC実験^[1]のデータにより示されている。臨界事故への対応策の検討においては、事故後の経過時間における出力と核分裂数（エネルギー）の情報が重要であるが、このような激しい出力振動を解析的もしくは数値的に再現して詳細に考慮することは困難である。しかし平均的な出力の挙動やエネルギーが簡単に精度良く評価できれば、対応策の検討や公衆の被ばく評価には十分役に立つ。そこで平均的な出力挙動を数値計算で評価する準定常法^{[2][3]}の考え方に基づいて、エネルギーが満たすべき方程式を導き、その解析解を求めた。この成果は臨界によるリスク評価を効率よく行う手法の開発に資する。以下では、エネルギーの単位[J]で議論するが、核分裂あたりのエネルギーは約200MeVであり、この関係（ 3.2×10^{-11} J/fission）を用いればエネルギーは容易に核分裂数に換算できる。

2. 方程式の導出 反応度 ρ (=rt) [%]は一定の割合 r [\$/s]で添加され、反応度フィードバックについては温度上昇 ΔT [°C]と放射線分解ガス及び沸騰によるボイドの割合（ボイド率） f [%]を考慮する。ここでは核燃料から容器等への熱の移動は無視できるものとする。準定常法では、添加反応度とフィードバック反応度が常にバランスする

$$(\rho - \alpha_T \cdot \Delta T - \alpha_f \cdot f = 0)。出力 Q[W]はボイド率の関数として $f(1-f) = aQ$ を満たす。ここで、 α_T [$/°C]、 α_f [%]$$

は反応度温度係数及びボイド係数、 a [1/W]は溶液のウラン濃度、硝酸濃度等で決まる定数である。これらの式を連立させてエネルギー $E = \Delta T/K$ [K°C/J]：熱容量の逆数)を用いると、臨界時から反応度添加終了までの時刻 t [s]の時点までに放出された核分裂エネルギー E [J]は以下のように表される。

$$E = \frac{1}{K} \left[\frac{r}{\alpha_T} t - \frac{\alpha_f}{\alpha_T} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{A} \frac{1 + B \exp\left(-\frac{2}{A} \lambda t\right)}{1 - B \exp\left(-\frac{2}{A} \lambda t\right)} \right) \right]$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{b}}}, \quad b = \frac{\alpha_T}{r} \frac{K}{a}, \quad B = \frac{A-2}{A+2},$$

$$\lambda = \frac{\alpha_T}{\alpha_f} \frac{K}{a}. \quad \dots \text{式 1.}$$

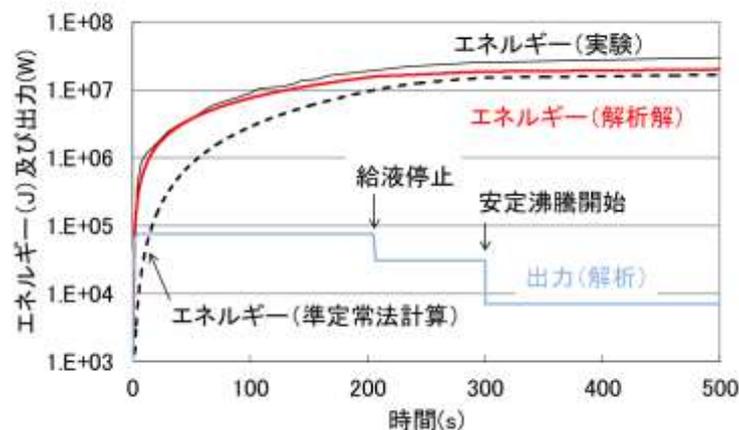


図1：エネルギーの解析解及び実験値と数値計算結果の比較

反応度添加終了から安定的沸騰の開始までの出力は沸点と初期温度の差 ΔT_b [°C]を用いて

$$Q = f_s(1 - f_s), \quad f_s = (\rho - \alpha_T \cdot \Delta T_b) / \alpha_f \text{ で表される。安定沸騰開始後は } Q = 7.96 fV \text{ [3]を用いた。}$$

3. 計算結果 CRACの実験No.16（給液により沸騰に至る過渡臨界実験）^[1]のデータに式1を適用して、エネルギーの挙動を求めた。実験データ及び準定常法^[2]による数値計算結果と比較したところ、図1に示すように、式1によるエネルギー（解析解）の値は、準定常法による計算結果に比べて実験データをよく再現している。

参考文献 [1] Barbry FY., et al., Rapport S.E.E.S.N.C. No. 116 (1973). [2] Schulenberg T, et al., Int. J. Multiphase Flow, 12[5], 759 (1986). [3] Nakajima K. et al., JNSTVol.39(11)p.1162(2002).

*Yuichi Yamane

Japan Atomic Energy Agency.