

Eu:TRUST LiCAF を用いた炉雑音実験に向けた予備実験

Preliminary Experiments for Reactor Noise Analysis using Neutron Detector with Eu doped LiCaAlF₆名大 *前納健佑¹, 遠藤知弘¹, 山本章夫¹
¹名古屋大学

福島第一原子力発電所(1F)炉心溶融事故により発生した溶融燃料取り出し作業時の未臨界度測定に向け、 γ 線バックグラウンドが高い場で中性子を測定することができる小型中性子検出器について検討した。本研究では、キラタンポ状の Eu:TRUST LiCAF で波長シフトファイバを包んだ形状の検出器を試作し、中性子/ γ 線弁別性能を過去の知見と比較した。また、Cf 自発核分裂中性子源を用いた炉雑音測定の予備実験を実施した。

キーワード : Eu:TRUST LiCAF、未臨界度測定、炉雑音解析、溶融燃料取り出し

1.緒言 1F 炉心溶融事故により発生した溶融燃料は、原子炉構造物・制御棒材料と混ざり合い冷え固まった「燃料デブリ」として炉内に存在している。1F 廃炉に向け燃料デブリを取り出す必要がある。この際、作業現場の未臨界度(- ρ)を監視することで作業の安全性・効率性を担保できる。燃料デブリ取り出し作業を想定した場合の未臨界度測定手法として、体系に動的変化を加えない中性子源増倍法や炉雑音解析手法が挙げられる。これまで、燃料内の固有中性子源(自発核分裂,(α ,n))のみで中性子計数を測定し、両手法に基づく未臨界度測定が可能であることが確認されている。しかし、燃料デブリ取り出し現場は高 γ 線量率場であるため、高線量率の γ 線が中性子検出器に影響を与え、未臨界度測定値に影響を与えるといった問題点が生じ得る。また、一般的に³Heを利用した中性子検出器が用いられているが、ガス封入型検出器であるため検出器形状の自由度は低く、検出器挿入に十分なスペースを要する。本研究では、検出器形状の自由度が高い Eu:LiCaAlF₆(LiCAF)を用いたシンチレーション検出器を試作し、中性子/ γ 線弁別性能を評価した。また、炉雑音実験を行う予備実験として、名大内で中性子源を用いた雑音実験を行い試作した検出器の性能を評価した。

2.Feynman- α 法 Feynman- α 法は炉雑音解析法の一つであり、中性子が検出された時刻情報を統計処理することで未臨界度を推定する手法である。ある時間幅 T の間に中性子の検出を行い、検出された中性子数の真の平均値を $C(T)$ とする。この測定を多数回繰り返した場合、検出中性子数 $C(T)$ に対する 2 次中性子相関量 Y 値は(1)式で定義される。得られた $Y(T)$ 値に対して(2)式をフィッティングすることで即発中性子減衰定数 α を推定し、臨界時の即発中性子減衰定数 α_0 を用いて(3)式によりドル単位の未臨界度(- ρ_s)を測定する。

$$Y = \frac{\langle C(T)^2 \rangle - \langle C(T) \rangle^2}{\langle C(T) \rangle} - 1 \quad (1)$$

$$Y(T) = Y_\infty \left(1 - \frac{1 - e^{-\alpha T}}{\alpha T} \right) \quad (2)$$

$$(-\rho_s) = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} - 1 \right) \quad (3)$$

3.Eu:TRUST-LiCAF[1] LiCaAlF₆ 結晶は中性子との ⁶Li(n, α)t 反応により発光するため、この反応を中性子検出に利用することができる。結晶を大きくすることで検出効率は向上するが、n/ γ 弁別性能は低下する。そこで、結晶を小片上に加工し透明樹脂中に分散させる(Transparent Rubber Sheet)ことで γ 線除去能力・高い中性子感度を持つ検出媒体となる。これを Eu:TRUST-LiCAF と呼ぶ。

4.試作した検出器の概要 Eu:TRUST-LiCAF を用いることで、小型(5[mm]×50[mm])で中性子に対し高感度かつ n/ γ 弁別性能が高い検出器の作成を試みた。本研究では、検出効率の向上を狙い、波長シフトファイバの周りを TRUST-LiCAF で包み込んだ、キラタンポ状の形状に加工した。

5.実験結果・考察 名大内で①n/ γ 弁別実験、②中性子検出時刻情報収集実験を行った。①については、まず、比較的弱い γ 線源として 2.1×10^5 [Bq] の ⁶⁰Co を用いた。この時 ²⁵²Cf は 1.5×10^5 [Bq] であった。Fig.1 左に示すように γ 線源がある場合であっても中性子起因のピークを確認することができた。次に 1.0×10^6 [Bq] の ¹³⁷Cs を用いて同様の実験を行った(Fig.1 右)。この結果から 10^6 程度のオーダーであれば弁別できることを確認した。②については、 γ 線源がある場・ない場において中性子検出時刻を収集し、 $Y(T)$ を測定した。また、得られた $Y(T)$ の結果を ³He 検出器と比較し、同様の結果が得られることを確認した(Fig.2 左)。次に、核分裂反応が検知できていることを確認するために、ポアソン中性子源(²⁴¹Am-Be)を用いて同様の実験を行った(Fig.2 右)。²⁵²Cf 自発核分裂で発生した中性子の場合には放出数にばらつきがあるため、 $C(T)$ の分散が大きくなり $Y(T)$ は正となることを確認した。ポアソン中性子源で $Y(T) < 0$ となった理由は検出器不感時間に依る。以上より、試作した

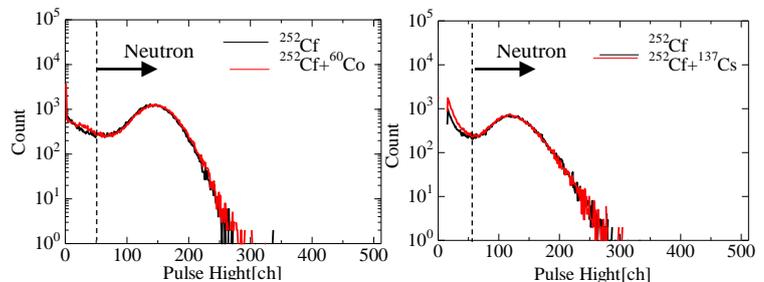


Fig. 1 n/ γ 弁別結果(左:Cf,Co,右:Cf,Cf,Cs)

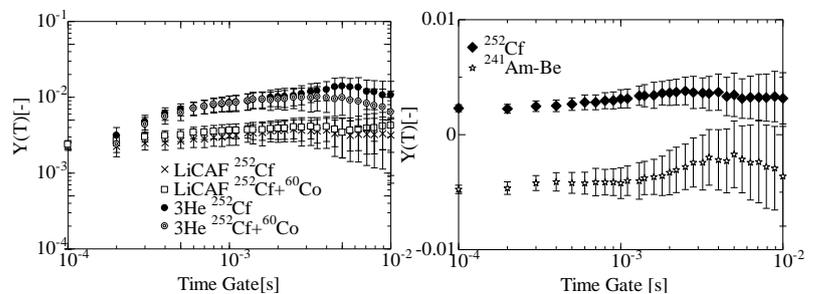


Fig. 2 $Y(T)$ 測定結果(左:LiCAF,³He 検出器比較, 右:²⁵²Cf, ²⁴¹Am-Be 源比較)

Eu:TRUST-LiCAF 検出器を用いた炉雑音解析により核分裂反応の検知が可能であることを確認できた。

謝辞 本研究成果は科研費(15K18317)の助成による。

参考文献 [1]D. Sugimoto, K. Watanabe, A. Yamazaki, A. Uritani, et al., “Study on neutron detector using transparent rubber sheet with dispersed small pieces of LiCaAlF₆ scintillator,” *Physics Procedia*, **60**, pp. 349-355, (2014).

*Kensuke Maeno¹, Tomohiro Endo¹, Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.