

原子炉における中性子スペクトルの変動 とフィックション・トラック

雁沢好博（北海道教育大）、本多照幸、野崎徹也（武蔵工大原研）

はじめに

F.T.年代測定における熱中性子フルエンスの絶対測定を行うことは、zeta法の限界を乗り越えるための一つの重要な指標となっている。筆者らは年代計算にかかわる項目において利用原子炉の実状に応じた熱中性子フルエンスや誘発核分裂トラック密度について補正を行い、熱中性子フルエンスの絶対測定を目指してきた（本多ほか、1986；雁沢ほか、1987）。さらに、本多ほか（1989）では武蔵工大炉における照射時間によるフルエンス変化、誘発核分裂トラック密度の変化を明らかにすると共に、特に、エピサーマル中性子や速中性子による誘発トラックの生成について検討をおこなった。もし、このような反応が高い比率で起こるとすれば、Th/Uの高い試料で ^{232}Th +速中性子が、U同位体比の異なる試料で ^{238}U +速中性子反応などの全誘発核分裂トラック密度への寄与率が問題となる。今回の実験では標準ガラスとして、SRM962a, CN1にJR-1を加え、上記の問題について検討を行った。

実験方法

実験に用いたガラスはそれぞれTh/Uが異なり、また、 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ も異なっているため、エピサーマル中性子や速中性子に対して固有の反応をすると考えられる。標準ガラスのUおよびThに関する諸特性は第1表の通りである。

実験はマイカディテクターを貼った各標準ガラスとCoモニターをセットにし、裸照射試料とCdカバー照射試料のペアを5試料用意した。各試料は予め照射溝にいれ、照射1時間ごとにペア試料を引き上げ、最高5時間までの照射をおこなった。したがって、裸照射試料とCdカバー照射試料とでは同一条件で照射しており、しかも1時間ステップでの中性子フラックスやエピサーマル中性子、速中性子フラックスの変動を知ることができる。誘発核分裂トラックの検出はHFにより、常温60分の条件で行った。また、フルエンス測定はpure Ge検出器により行った。

第1表 標準ガラスのUおよびThの特性

| | U(ppm) | $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ | Th(ppm) | Th/U |
|------|-----------|---------------------------------|-----------|------|
| 962a | 37.38 | 418.06 | 37.79 | 1.01 |
| CN-1 | 35.4-43.7 | 137.77 | 0.37-0.44 | 0.01 |
| JR-1 | 9 | 137.77 | 26.5 | 2.94 |

結果および考察

1) 誘発トラックと中性子フラックスの変化

照射時間に対する誘発核分裂トラック密度($\rho d0$)とCoで測定したcps/mgを図-1a)に示した。裸照射試料では、U含有量が高く $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ が高いCN-1のトラック密度増加率が最も高い。これに対し、962aとJR-1は結果的に類似の増加曲線をとっている。また、炉内の中性子フラックスは一様ではなく、3時間以降増加率は減少している。さらに、誘発核分裂トラック密度とCoのcps/mgカウンターの増加率の変化はよく対応している。

一方、Cdカバーをした試料の誘発核分裂トラック密度(ρdcd)の照射時間に対する増加率を図-1b)に示した。増加率はCN-1で最も高く、SRM962a、CN-1の順になっている。裸照射と比較し、Cdカバー照射ではSRM962aとCN-1に約2倍の開きがある。こうした裸照射とCdカバー照射に見られる増加率の違いは、各標準ガラスのTh/Uの差異、 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ の違いによっている。そこで各標準ガラスに含まれるUおよびThの誘発核分裂トラックの生成率について計算を行った(表-2)。

表-2でいずれの標準ガラスをとっても $^{238}\text{U}+f$ と $^{232}\text{Th}+f$ の生成率の合計が $\rho dcd/\rho d0$ に比べ低いのは、これ以外の核反応が寄与しているためであり、それは主に $^{235}\text{U}+\text{epithermal neutron}$ の反応であろう。表-1および表-2からエピサーマル中性子と速中性子による標準ガラスのUとThの核反応による誘発核分裂トラックの生成効果を評価すると表-3のようになる。

表-2 標準ガラスの誘発核分裂トラックの生成率(%)

| | $^{235}\text{U}+t$ | $^{238}\text{U}+f$ | $^{232}\text{Th}+f$ | $\rho dcd/\rho d0$ |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 962a | 97.80 | 1.60 | 0.41 | 5.04 |
| CN-1 | 99.45 | 0.54 | 0.0014 | 2.50 |
| JR-1 | 99.06 | 0.54 | 0.40 | 3.10 |

t:Thermal neutron, f:Fast neutron

表-3 エピサーマル中性子と速中性子の標準ガラスの誘発トラックの生成効果

| | $^{235}\text{U}+e$ | $^{238}\text{U}+f$ | $^{232}\text{Th}+f$ |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 962a | ○ | ○ | △ |
| CN-1 | ◎ | △ | - |
| JR-1 | ○ | △ | △ |

この表から図-1b)で示したCdカバー試料の誘発核分裂トラックの生成には各標準ガラスでそれぞれ異なった核反応が寄与していることが明かである。すなわち、SRM962aでは $^{235}\text{U}+e$ と $^{238}\text{U}+f$ が、CN-1ではほとんど $^{235}\text{U}+e$ が、JR-1ではおもに $^{235}\text{U}+e$ の核反応が誘発核分裂トラックの生成に影響している。

このように標準ガラスの持つ固有のTh/UやUの同位体比によって、Cdカバーをした誘発核分裂トラック生成効果は異なっている。したがって、熱中性子フルエンスの測定においては、利用炉の中性子スペクトルの変動を明らかにした上で行うことが望ましい。

2)照射時間による $\rho d^0/\rho dcd$ と CoO/CoCd の変化

本多ほか(1989)では照射時間とともに $\rho d^0/\rho dcd$ と CoO/CoCd が著しく低下することを示した。たとえば、SRM962a では2.5時間照射時の0.75から5.0時間照射時の0.38へ、また、CN-1 では1.39から0.82へと急減した。今回の実験結果を図-2に示したが、 $\rho d^0/\rho dcd$ は全体として漸減傾向にあるものの、本多ほか(1989)で認められた大きな変化は認められない。しかし、3時間でやや大きな増加が認められる。このことは炉内の中性子スペクトルが時間に対して決して一様でないことを表しており、本多ほか(1989)との結果ともあわせて今後さらに検討を要する。

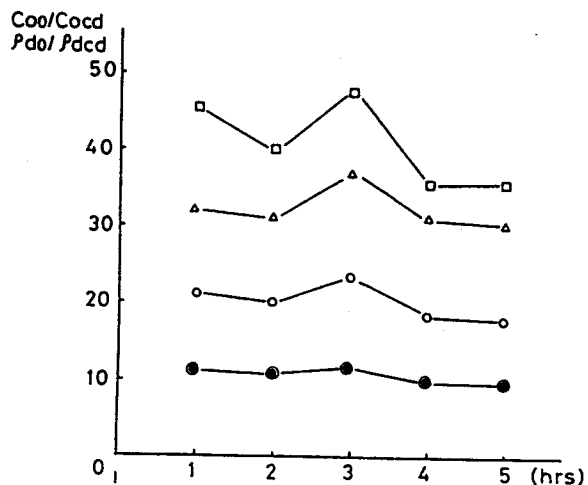
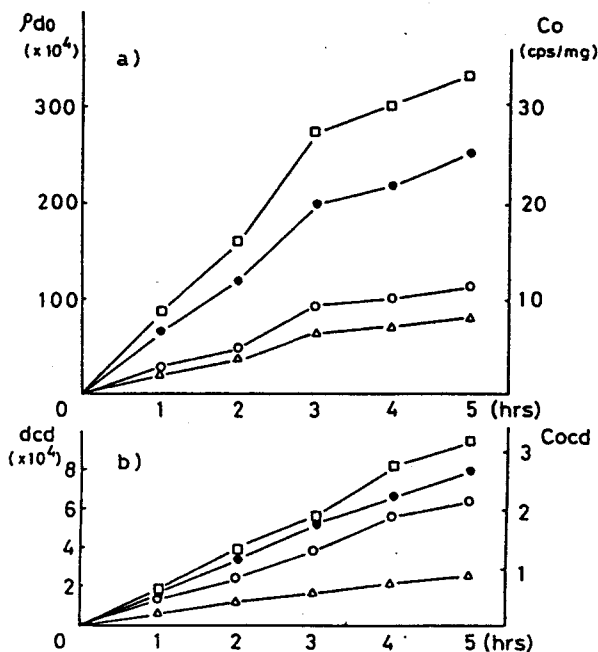


図-1 照射時間に対する誘発核分裂トラック密度の増加

a)裸照射 b)Cdカバー照射

○:962a, △:JR-1, □:CN-1, ●:Co

図-2 照射時間に対する $\rho d^0/\rho dcd$ の変化

○:962a, △:JR-1, □:CN-1, ◎:Co