

「固体飛跡検出器を用いた個人中性子線量計の開発」

菊地正太郎*、野崎徹也*、本多照幸*、原沢進**

* 武蔵工業大学原子力研究所 ** 立教大学原子力研究所

1 はじめに

近年、中性子発生機器を備えた施設が増加していることなどにもなつて、中性子についての個人被曝管理の重要性が高まってきた。中性子エネルギーは熱領域から高速領域まで8桁以上にわたって分布するため、あらゆるエネルギー領域で正しく線量当量を測定できる検出器を製作することは非常に難しく、満足な性能をもつ個人中性子線量計は供給されていない。ただし現在、困難とされているのは中速領域の中性子に対する個人線量計で、熱領域および高速領域の中性子については実用となる性能をもったものがある。前者はCd付きフィルムバッジやTLD、後者はフィルムバッジや固体飛跡検出器などである。

そこで本研究では、固体飛跡検出器ADC(アルカヅリコル・カーネー)プラスチックを用いて、特に中速領域の中性子線量計測において十分な感度、小型軽量といった要求を満たす線量計を開発し、さらにそれを含む複数の素子を組み合わせ、熱領域から高速領域までの中性子に対し満足な性能をもつ個人中性子線量計を開発することを目的とした。

2 検出器とその材料

ADCは陽子などの荷電粒子によって損傷を受けやすく、加熱アルカリ水溶液でエッチングすると光学顕微鏡で観察できる程度の大きさのエッチピットが現れる。しかもX線・ γ 線・ β 線に何ら影響を受けない、常温においてフェーディングがない、エッチピット像が明瞭で計数が容易、軽いプラスチックで取扱いが容易、検出器自身が被曝記録として保存できる、などの特長を有するため線量測定素子として注目されるようになってきた。

現在、ADCとしてPPGインダストリーズ社のCR-39が多く利用されているが、長瀬ランダウア社から低バックグラウンド・透明性の点で優れたバリオトラックと称するADCプラスチックが販売されており、本研究ではこれを用いることにした。

中性子は電荷を持たないので、検出器で測定する場合にはなんらかの物質と中性子との間に相互作用を起こし、荷電粒子を発生させる必要がある。さらに、広いエネルギー範囲に分布する中性子を一つの検出器で測定するのは困難なので、中性子エネルギーを熱および中速領域、と高速領域という二つに分けて考える。

熱領域および中速領域の中性子は、 ${}^6\text{Li}$ を含む物質でADCを覆い ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 反応による反跳 ${}^3\text{H}$ および α 粒子の飛跡を計数することにより検出することを考えた。

線量計としては、広いエネルギー範囲にわたって線量当量曲線に近い平坦な感度特性をもち、かつ高い感度を有することが望ましい。しかし ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 反応は $1/v$ のエネルギー依存性をもつため、検出器にこの反応を利用すると中速領域に対して熱領域のほうが感度が非常に高くなる。

そこで本研究では $1/v$ 特性を持つ ${}^6\text{Li}$ を高濃縮したフッ化リチウムタイル (Li 濃度 26.8%、 Li 中 ${}^6\text{Li}$ 濃度 96%、以下 LiF タイルと呼ぶ) を、コンバーター (荷電粒子発生物質) としてだけでなく、熱領域の中性子に対するしゃへい体としても利用して熱中子に対する感度を下げ、熱領域から中速領域にわたって平坦な感度特性を持たせることを考えた。

また、この ${}^6\text{Li}$ を高濃縮した LiF タイルを用いることによって小型かつ高感度な検出器となることを期待した。

また高速領域の中性子については、ADCを用いた個人中子モニタリングサービスがすでに国内でも実用化されている。これはポリエチレンとADCとを密着させて ${}^1\text{H}(n, n'){}^1\text{H}$ 反応による反跳 ${}^1\text{H}$ の飛跡を計数するものである。中性子検出原理を図1に示す。

3 感度計算

ADCを覆う LiF タイルの厚さを決定するため、 LiF タイルの厚さをさまざまに変えた場合の素子の中性子感度を二次元輸送コードDOT3.5によって計算した。体系を図2に示す。

感度を求める手順は、まずDOT計算の入力中子数あるエネルギー領域のみ1.0とし、他のエネルギー領域は0としてDOT計算を行い、ADC表面における中性子スペクトルを求める。次にこの中性子スペクトルと、 ${}^6\text{Li}$ の (n, α) 反応断面積をかけ合わせる。これが入力したエネルギー領域の中子に対する感度であり、これを中子数の

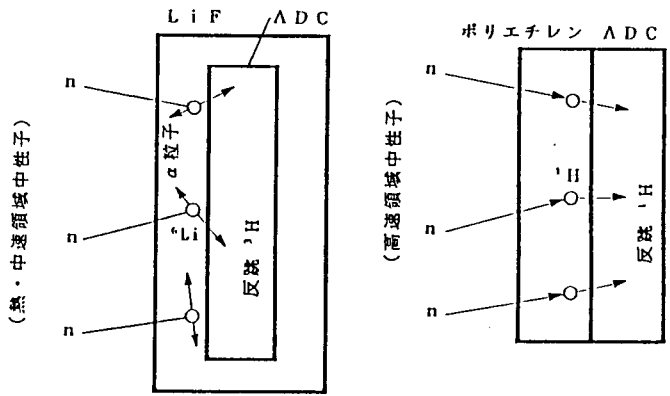


図1 中性子検出原理

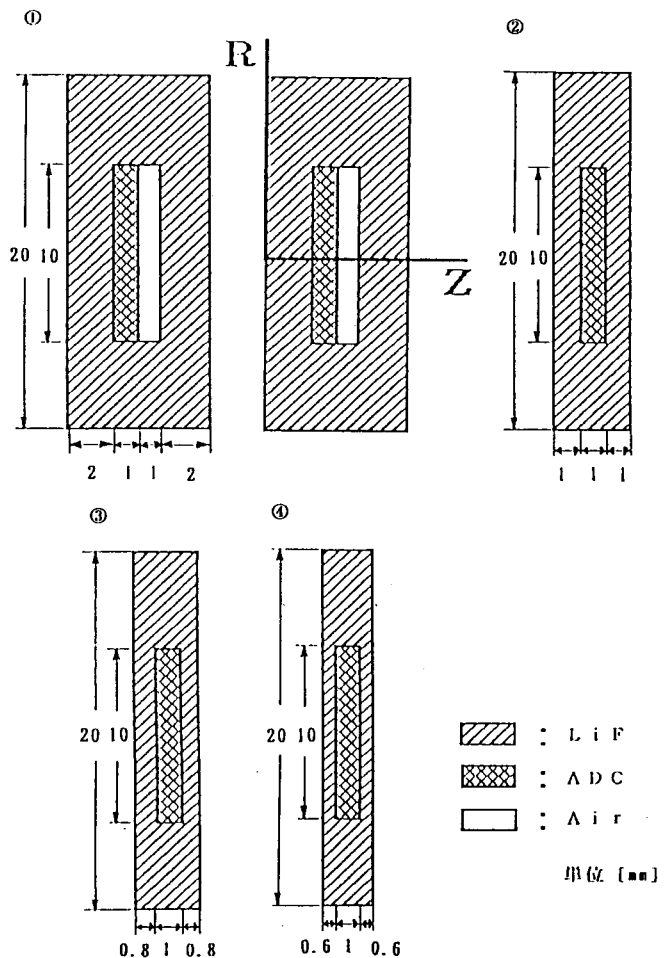


図2 熱・中速領域用検出素子

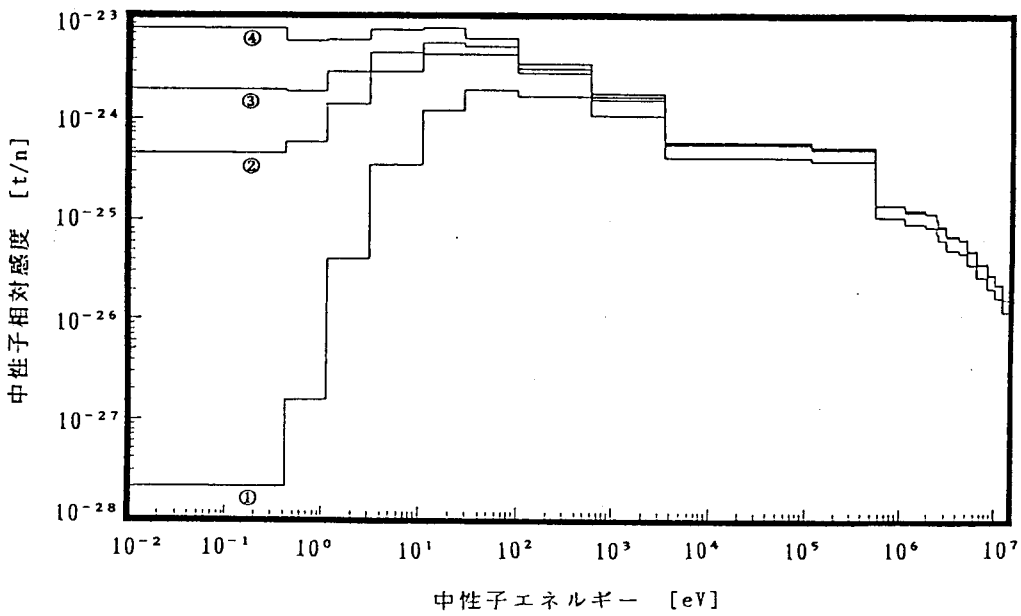


図3 DOT3.5による熱・中速領域用検出素子の相対感度

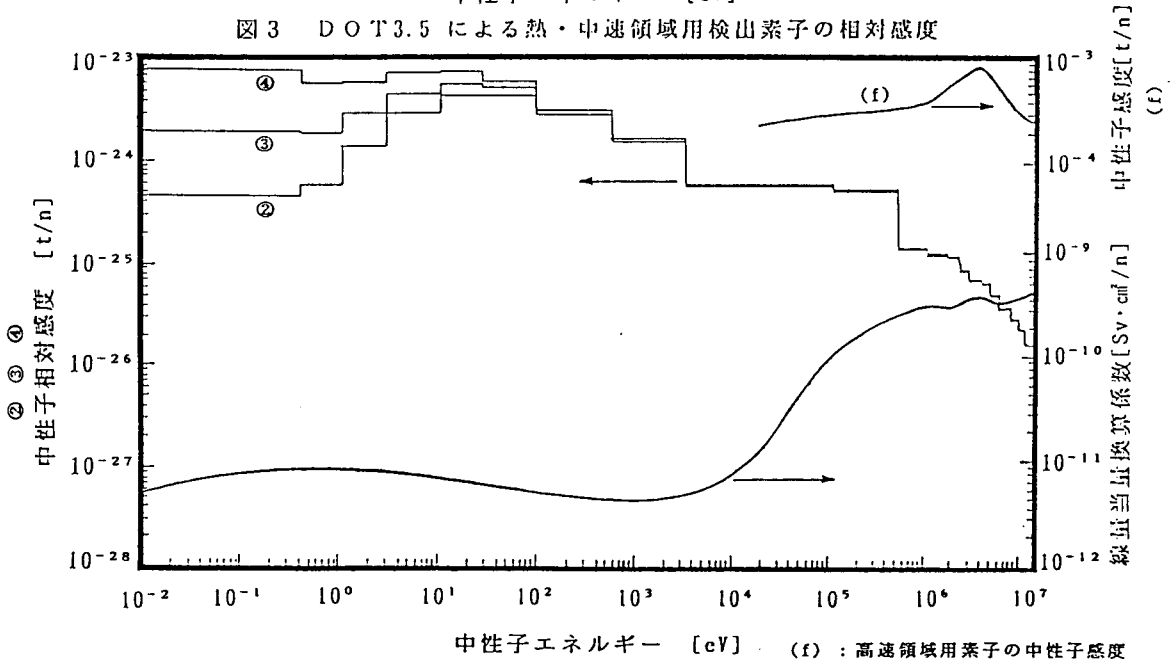


図4 検出器感度と線量当量換算係数との比較

全エネルギー領域にわたって行う。ただし、この感度は相対値である。

計算結果を図3に示す。この結果、LiF タイルを2[mm] (①) から 0.6[mm] (④) へと薄くするほど、熱領域から中速領域にかけて感度特性がほぼ平坦になることがわかる。これに、線量当量換算係数曲線および高速領域用素子の感度特性を重ねた図4から、④の素子が線量当量換算係数曲線に最も近い感度特性を持つことがわかる。さらに熱・中速領域用と高速

領域用の各々の素子の感度に適当な補正係数を乗じれば、全中性子エネルギー範囲にわたって線量当量曲線に近い感度特性が得られ、実用に適した線量計とすることができると考えられる。

4 熱・中速領域用試作線量計の照射実験

LiF タイルでADCを覆った熱・中速領域用素子の感度特性を知るために、LiF タイルの厚さ0.6[mm]の試作線量計④を立教大学研究用原子炉の熱中性子柱で照射(300[W], 30[min])した。また同時にAu箔も照射し、箔放射化法による中性子束測定を行った。

この結果、熱中性子のフルエンスが 7.6×10^8 [n/cm²](6.1[mSv])のときの線量計の計数値は 6.8×10^5 [t/cm²]であった。これによって、この熱・中速領域用試作線量計の熱中性子に対する感度は 8.9×10^{-4} [t/n]となった。これは線量当量感度に換算すると、 1.1×10^5 [t/cm²·mSv]となる。

DOT3.5を用いた計算結果では、試作線量計は線量当量曲線と似て熱領域から熱外領域までほぼ一定の中性子感度をもつ。これを実験的に確認するために、求めた中性子感度と熱外領域での線量計計数値から熱外領域のフラックスを計算し、Au箔によるフラックス値と比較してみる。Cd被覆した線量計の計数値は 4.9×10^5 [t/cm²]であったので、100[kW]換算のフラックスは 1.0×10^8 [n/cm²·sec]と求められる。これはCd被覆Au箔を用いた共鳴積分による熱外中性子束測定の結果 = 5.2×10^8 [n/cm²·sec]よりやや小さい値となった。この原因については、中性子感度を熱外領域まで熱領域と全く等しいとして計算していることなどが考えられる。しかしオーダーが違うほどの差ではないので、今回試作した熱・中速領域用素子は熱領域から熱外領域まで 8.9×10^{-4} [t/n]程度でおおむね平坦な感度特性を持つことが確認できたといえる。

また、最小検出線量を考えてみる。すでに商業的にサービスされている高速領域用素子の線量当量感度は平均で約 1.3×10^3 [t/cm²·mSv]であり、最小検出線量は約0.15[mSv]とされている。今回の実験で得られた熱・中速領域用素子の熱および熱外領域での線量当量感度は 1.1×10^5 [t/cm²·mSv]で約85倍となった。これは線量当量換算係数が高速側で非常に大きいためである。そこで最小検出線量は1/85、約1.8[μSv]となる。これは実用上、十分な性能であるといえる。

5 まとめ

個人中性子線量計測においてこれまで不十分であった中速領域の中性子に対して満足な検出能力を持つ個人線量計を開発することを目的として⁶Liを高濃縮したLiFタイルとADCプラスチックを用いた検出器を試作した。計算によって得られた感度特性は熱領域から中速領域にかけて線量当量曲線に近いものであり、これを実験によって確認した。さらにこの検出器は高い感度を有し、小型軽量でもあるため、熱領域から中速領域までの個人中性子線量計として実用となり得る性能を持つものであるといえる。