

新規複合型速中性子スペクトロメータの開発

高いエネルギー分解能で速中性子スペクトル測定を実現

3つの位置敏感型比例計数管（PSPC）と2つの表面障壁型シリコン半導体検出器（SSD）からなる複合型の速中性子スペクトロメータを開発した。このスペクトロメータによって、反跳陽子のエネルギーと反跳角の高精度な同時測定が可能になり、その結果、5MeV 単色中性子に対して 1.7% の高分解能スペクトル測定に成功した。

We developed a hybrid fast neutron spectrometer composed of three position-sensitive proportional counters and two surface barrier silicon semiconductor detectors. The hybrid spectrometer can measure energy and recoil angle of a recoil proton simultaneously. The spectrometer successfully gave a neutron spectrum with 1.7% energy resolution for a monoenergetic neutron (5.0MeV) beam.

中性子のエネルギー分布の必要性

中性子は、エネルギー毎に原子炉開発、核融合炉開発、医療照射、薬品開発など様々な用途があり、物質との反応過程も大きく異なる。速中性子(100 keV~15 MeV)は、主に核融合炉開発で利用され、そのエネルギー分布（スペクトル）の高分解能測定は、核融合炉における核燃焼プラズマ診断で必要な技術である。

当研究室では、中性子の様々な産業利用に対応するために単色中性子フル

エンス標準の維持、供給を行っている。単色中性子標準場では、中性子検出器や線量計へフルエンス（単位面積あたりを通過する中性子数）を与える校正の際に、目的以外のエネルギーを持つ中性子の量を知る必要がある。単色中性子は、加速器からの荷電粒子との核反応によって発生させるが、特に速中性子の場合には、照射室内の構造体との散乱による減速や中性子生成の競合反応によって、目的外のエネルギーを持つ中性子が混在する場合が多いの

松本哲郎 まつもと てつろう

t-matsumoto@aist.go.jp

計測標準研究部門

量子放射科放射能中性子標準研究室

東京工業大学で、長寿命放射性廃棄物の核変換処理に関連した中性子捕獲反応の研究を行い、2003年に入所後は全エネルギー領域に対する中性子の精密測定に関する研究を行っている。現在は、keV ~ MeV エネルギー領域の速中性子フルエンス標準の整備に取り組んでおり、中性子フルエンスとスペクトルを同時に測定する技術の確立を目指している。

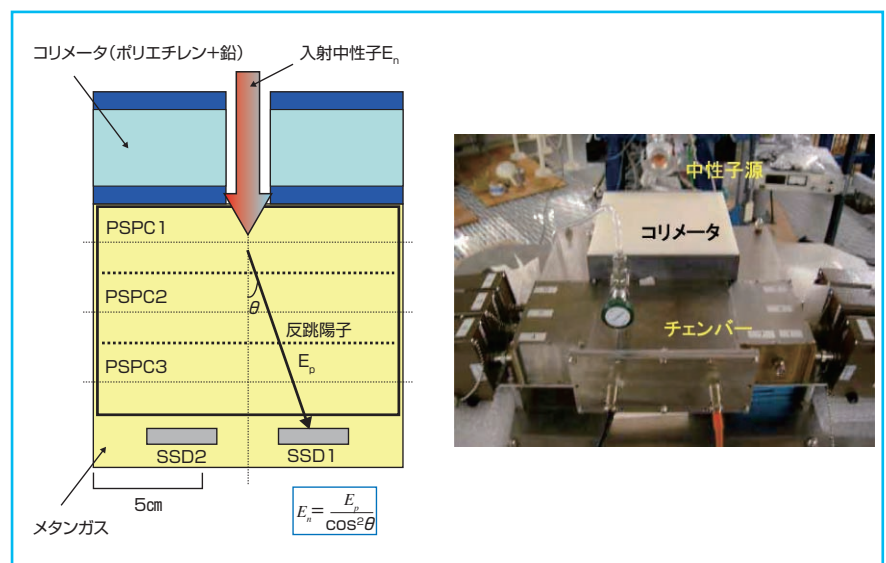
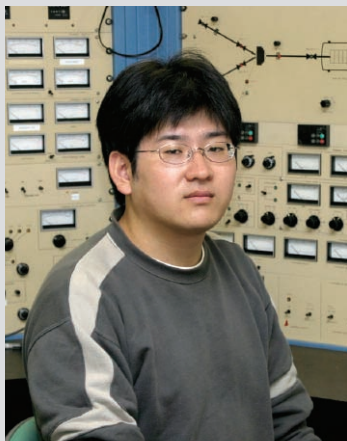


図1 スペクトロメータの概略図(左)と写真(右)

スペクトロメータは3つのPSPCと2つのSSDで構成されている。コリメータを通過して入射した中性子はPSPC1で弾性散乱をし、反跳陽子を生成する。反跳陽子は、PSPC2、PSPC3を通過した後どちらかのSSDに到達する。

で、標準の信頼性向上のために中性子標準場においても高分解能中性子スペクトルの測定は重要である。

測定の問題点

中性子の計測は過去に多くの方法が開発されているが、中性子と反応しやすい物質(コンバータ)と、反応によって生成した2次荷電粒子を測定する検出器を組み合わせることが多い。コンバータとして水素を含む物質を利用し、中性子と水素原子核との弾性散乱によって生成される反跳陽子を観測する反跳陽子法が広く利用されている。

反跳陽子法は、原理的には反跳陽子のエネルギーと入射中性子軸に対する飛行方向(反跳角)から中性子エネルギーを決定するが、高分解能スペクトル測定に際しては2つの問題点がある。1つは、検出器は必ず有限の大きさを持つので、反跳角が広がりを持ちエネルギー分解能を悪くしていること、もう1つは、コンバータとしてポリエチレン薄膜のような固体薄膜を用いた場合に、薄膜内での反跳陽子のエネルギー損失がエネルギー分解能を悪くするという点である。

我々は、今回スペクトロメータに荷電粒子の位置情報を検出できる位置敏感型比例計数管(PSPC)を利用し、PSPC自身をコンバータとすることで、エネルギー分解能に関する問題点を解決した。

新規複合型速中性子スペクトロメータ

新規複合型速中性子スペクトロメー

タは、PSPCと高分解能が得られる表面障壁型シリコン半導体検出器(SSD)を組み合わせた構成になっている^{1), 2)}。図1に示すように複数のPSPCを並べることにより反跳陽子エネルギーと反跳角を同時に測定することが可能になった。チェンバー全体には荷電粒子計数用のメタンガスが充填されているが、これは同時に水素原子を利用したコンバータとしての役割も果たしている。その結果、反跳陽子エネルギーを損失せずに検出することが可能になった。スペクトロメータ前面には、鉛とポリエチレンで構成されるコリメータを設置して、中性子の入射方向を1方向に限定している。SSDは、中性子が直射する部分を避けて、中性子による放射線損傷を防ぐ配置にした。

5.0 MeV単色中性子標準場で実際にスペクトル測定を行ったところ、スペクトロメータ内部での反跳陽子の位置情報がはっきりとわかり、1.7%という高いエネルギー分解能を得ることに成功した(図2、図3)。エネルギー分解能は、反跳陽子法を用いた従来のスペクトロメータよりも飛躍的に改善された。

今後の展開

近年、航空機乗務員の宇宙線に起因する中性子による被曝や、医療施設などで導入されている大型線形加速器から発生する中性子の線量評価の問題などで、15 MeV以上の高エネルギー中性子が重要視されている。そこで産総研では、高エネルギー領域の中性子標準の整備を行っている。この中性子

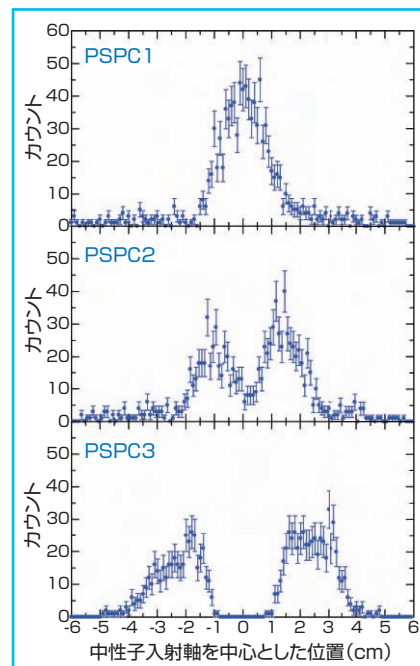


図2 3つのPSPCで得られた位置情報の例

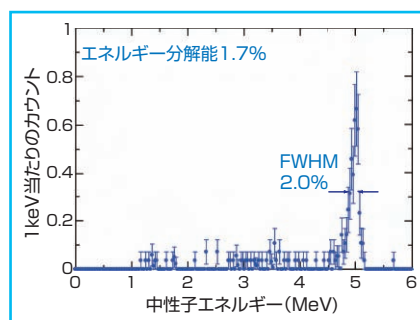


図3 5.0MeV単色中性子を測定したときのスペクトル

スペクトロメータについて、さらなる研究を積み重ね、高エネルギー中性子にも対応できる技術を確認するとともに、実際にそれを中性子の標準システムに組み込むことを目指している。

関連情報：

- 共同研究者：原野英樹、瓜谷章、工藤勝久(計測標準研究部門)
- 1) T. Matsumoto, H. Harano, A. Uritani, K. Kudo et al.: Radiat. Prot. Dosim., Vol. 110, p. 223-226 (2004).
- 2) T. Matsumoto, H. Harano, A. Uritani, K. Kudo: IEEE Trans. Nucl. Sci. (in printing)