

005 中性子発生装置のターゲット近傍における速中性子束分布について

近藤 嘉秀, 山内 幹雄, 有吉 龍一
遠藤 昇, 三木 良太

Fast Neutron Flux Distributions near the Target of a Neutron Generator

By Yoshihide KONDO, Mikio YAMAUCHI, Ryuichi ARIYOSHI
Noboru ENDO, Ryota MIKI

(Received Sept. 30, 1975)

It is essential to know the fast neutron flux reaching sample boundaries in irradiation experiments with a 14-MeV neutron generator. In this paper we describe an experimental study of the fast neutron flux distributions which are measured by counting the positron activity from the $^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ reaction induced by 14-MeV neutrons.

Several Cu foils ($0.5\text{mm} \times 5\text{mm}^{\phi}$) are placed on the Al cooling cap (see Fig. 1) in the plane parallel to the target: the distance from the tritium layer to each foil is 15 mm. After simultaneous irradiation, activities from these foils are measured separately by a G-M counting system. The flux density obtained shows considerable variation near the center of deuteron beam, whereas it becomes more symmetric as the distance from the center increases.

I 緒 言

中性子発生装置を用いて照射実験をおこなう際、照射試料位置における中性子束を知ることは非常に重要である。照射実験に利用する 14 MeV 中性子は D-T 反応により得られるが、トリチウム・ターゲット背面には、デューテロン・ビームによる過熱を防ぐため、水冷却部が設けられている¹⁾。このためターゲット—試料間に散乱体、減速体が介在することになり、照射試料位置における中性子束分布は非常に複雑で、大きな変化を示す²⁾。現実には個々の中性子発生装置により冷却部の構造、材質及び冷却体の種類などが若干異なっており、ターゲット—試料間の幾何学的配置、中性子の散乱、減速の状態も大なり小なり異なるため、照射試料位置においては中性子束分布だけでなく、エネルギー分布も個々の装置で異なっていると思われる。

る。

一般的にはターゲットに近づくほど大きい中性子束が得られるが^{3) 4)}、中性子束分布に歪みを生じ易い⁵⁾ (中性子束分布がデューテロン・ビーム軸に対して非対称になり易い)。歪みの度合は、新しいターゲットを使用した実験では非常に小さいが、使用時間の経過とともにターゲットの劣化が進行し、トリチウム層に落剥が生じた場合⁶⁾には、かなり大きくなって来る。中性子束分布の対称性にはトリチウム層の均一性が大きく影響し、新しいターゲットを使用しても均一性が悪ければ良い対称性は得られない。

14 MeV 中性子束の分布特性については詳しい報告^{3)~5), 7)~10)}があるが、これらのほとんどはいずれも理想的な状態 (均一なターゲットの使用) でおこなわれたものである。実際に我々が照射実験をおこなう際には、大なり小なり歪んだ分布状態の中性子束で試

射を照射することになるであろう。従って劣化したターゲットを使い、しかも照射効率を上げるためターゲット-試料間の距離を接近させて実験をおこなう場合には、照射試料位置における中性子束分布をあらかじめ調べておく必要がある。

本実験では効率の良い照射実験をおこなうための基礎とするため、最も高い中性子束の得られるターゲット冷却用水ジャケットのアルミ製キャップ (Fig. 1 参照) 外側表面における中性子束分布を、銅のしきい値応を利用して求めた。

II 方 法

1. 照射条件

照射実験に使用した中性子発生装置は近畿大学原子力研究所の Texas Nuclear Corp 製の コックロフト・ワルトン型加速器で、D-T 反応により 14 MeV 中性子が得られる。実験に使用した中性子発生装置のターゲット・アセンブリの構造を Fig. 1 に示す。照射実験はデューテリウム: 0.45 mA, エクストラクション: 0.12 または 0.2 mA, フォーカス: 0.3 または 0.5 mA, 加速電圧: 120 kV, 照射時間: 10 分または 20 分の条件でおこなった (ただし mA は制御パネルのメーター目盛である)。

2. 照射試料

照射に使用した試料は 5 mm 径、0.5 mm 厚 (重量: 0.0788 ± 0.0021 g) の銅板 (三洋和化学薬品製、純度: 99.9%) 約 70 枚で、アルミ製キャップ外側表面に 5~9 個所ずつ配置して、同時照射をおこなった。

試料の照射は次の 3 種類に分けておこなった。

i) Fig. 2-a に示す位置番号のうち No. 1~4, 5~8, 9~12, 13~16 の 4 組に分け、0 を含む位置に 5 枚ずつ銅板をセットして、各組毎に各々 10 分間ずつ照射する (デューテリウム: 0.45 mA, エクストラクション: 0.2 mA, フォーカス: 0.5 mA, 加速電圧: 120 kV)。

ii) Fig. 2-a に示す位置番号のうち No. 1~8, 9~16 の 2 組に分け、0 を含む位置に 9 枚ずつ銅板をセットして、各組毎に各々 20 分間ずつ照射する (運転条件は i) と同じである)。

iii) Fig. 2-b に示す位置番号に銅板をセットして、次の 5 つの運転条件で各々 20 分間ずつ照射する。ただしデューテリウム、加速電圧はそれぞれ 0.45 mA, 120 kV で実験中変化させない。実験は (a) → (e) の順番でおこなった。

(a) エクストラクション: 0.2 mA
フォーカス: 0.5 mA

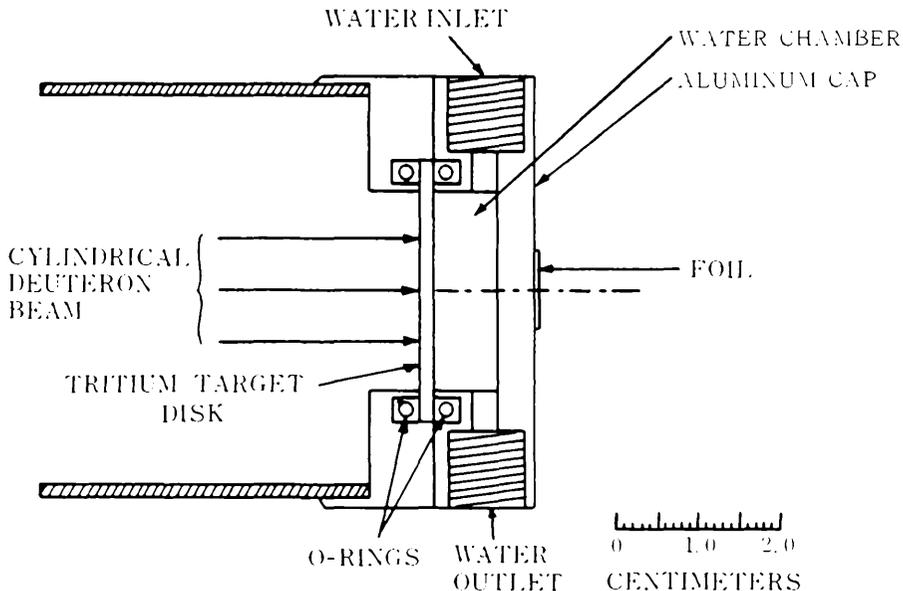


Fig. 1 Target assembly of a 14-MeV neutron generator. Cu foils are placed on the Al cap: the distance from the tritium layer to each foil is 15 mm.

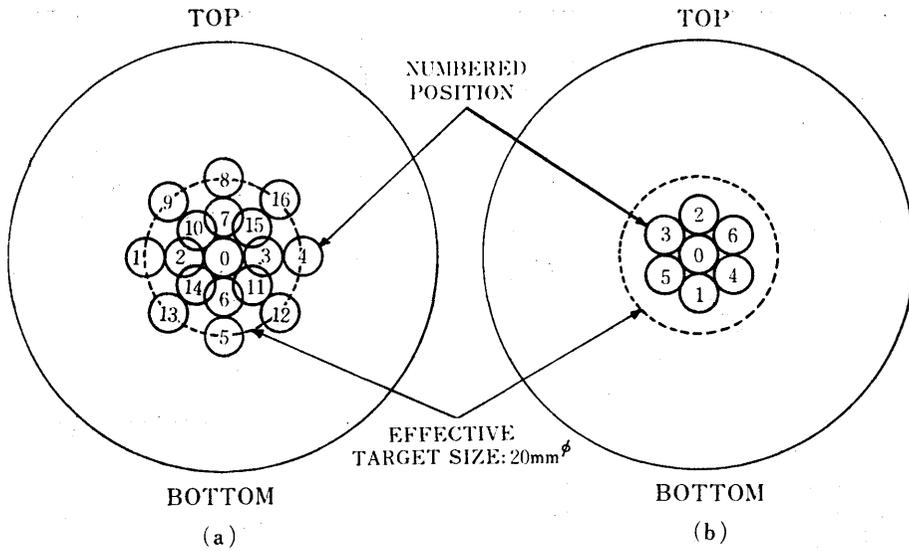


Fig. 2 Arrangement of irradiated samples for the fast neutron flux distribution measurements. Cu foils are placed at each numbered position and irradiated for 10 or 20 minutes by 14-MeV neutrons. Diameters of the Cu foils are 5 mm.

- (b) エクストラクション: 0.2 mA
フォーカス: 0.3 mA
- (c) エクストラクション: 0.12 mA
フォーカス: 0.3 mA
- (d) エクストラクション: 0.2 mA
フォーカス: 0.5 mA
- (e) エクストラクション: 0.12 mA
フォーカス: 0.5 mA

3. 測定

中性子束分布の測定に利用した反応は $^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ (反応しきい値: 11.8 MeV) である。生成した ^{62}Cu の放射能強度を GM 計数管 (富士電機製, 有機ガス消滅端窓型) と計数装置により, 照射後 2 分から 15 分の間で測定した。得られた測定値に重量補正, 減衰補正を加えて中性子束分布を相対値で求めた。

III 結果および検討

Fig. 3 は照射後銅板を GM 計数装置で測定して得られた崩壊曲線で, 半減期は 9.8 分と求められた。また Ge(Li) 半導体検出器による γ 線スペクトル測定の結果, 10~20 分間照射で, 照射後 2 分以上経過時には 511 KeV の消滅 γ 線しか検出できなかった。以上の結果から照射後 2 分以上経過時には $^{63}\text{Cu}(n, 2n)$ 反応により ^{62}Cu のみが生成していることを確認した。

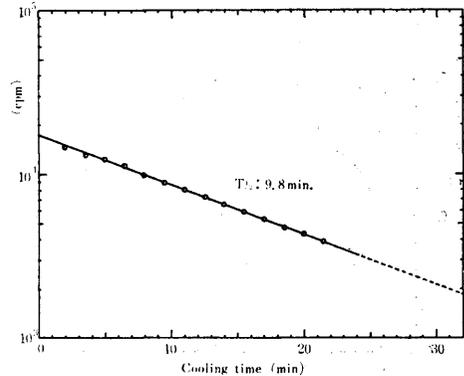


Fig. 3 Decay curve of ^{62}Cu . A Cu foil is irradiated for 10 minutes by 14-MeV neutrons. After 2 minutes cooling, its activity is measured for 60 seconds at intervals of 30 seconds by a GM counting system.

II-2-i) の測定結果より得られた中性子束分布を Fig. 4 に示す。この図は 4 回に分けて照射した測定結果を中心点 (0) で標準化して合成したものである。

II-2-ii) の測定結果より得られた中性子束分布を Fig. 5, 6 に示す。Fig. 7 は Fig. 5, 6 を基にして作成した中性子束分布の等高線表示である。この図は 2 回に分けて照射した測定結果を中心点 (0) で標準化して合成したものである。

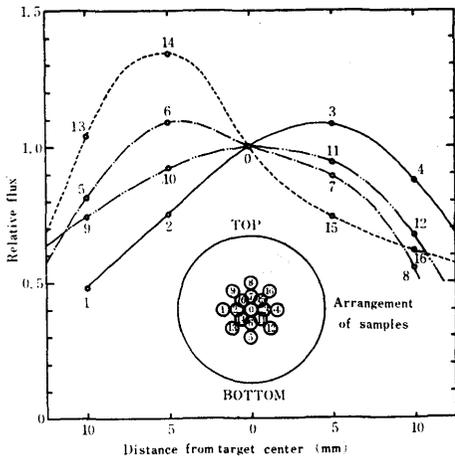


Fig. 4 Relative fast neutron flux on the outer surface of the Al cap as a function of distance. Cu foils are irradiated for 10 minutes.

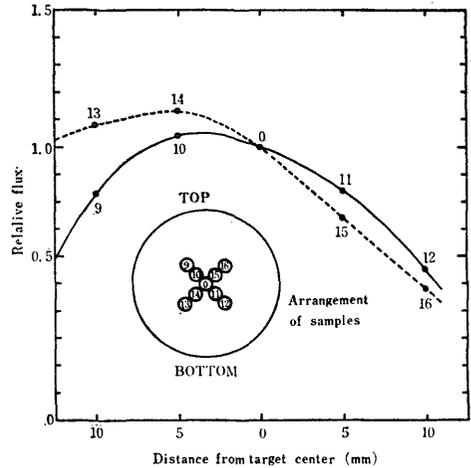


Fig. 6 Relative fast neutron flux on the outer surface of the Al cap as a function of distance. Cu foils are placed at each numbered position and irradiated for 20 minutes.

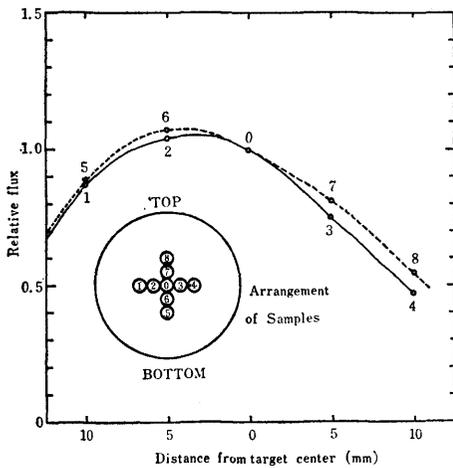


Fig. 5 Relative fast neutron flux on the outer surface of the Al cap as a function of distance. Cu foils are placed at each numbered position and irradiated for 20 minutes.

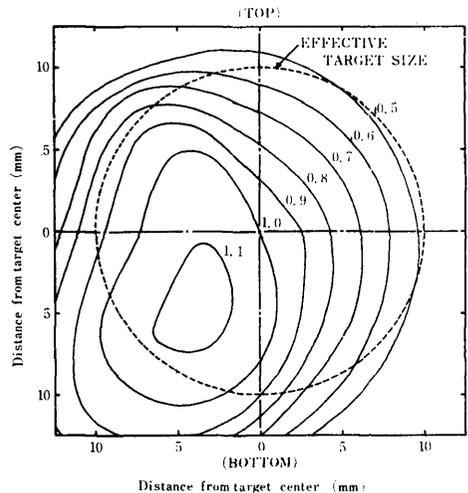


Fig. 7 Relative fast neutron flux density map on the outer surface of the Al cap. Cu foils are irradiated for 20 minutes.

Fig. 4~7 は照射条件の再現性を良くするため、デューテリウム、エクストラクション、フォーカスを固定し、加速電圧のみを変化させて120 keVに調整し中性子発生装置を運転した実験結果である。Fig. 4とFig. 5, 6とは試料位置番号を対応させており、中性子束分布はNo. 5~16では20分間照射の方が10分間照射よりなだらかな変化となっているが、全般的には同一傾向を示している。これは長時間照射によりビームの“ふらつき”がある程度平均化されたために中性

子束分布が平坦化されたためであろう。しかしながら、No. 1~4では中性子束分布が全く逆の傾向を示している。このような現象は中性子発生装置を利用する際の障害となるが、類似の現象はライナックなど他の加速器を利用する際にも観測された。本装置の場合、デューテロン・ビームの“ふらつき”が不均一なトリチウム・ターゲットにより強調されたものと推測されるが、この“ふらつき”にはいろいろな作用原因が考え

られ簡単には解明できない。

本実験では ^{63}Cu ($n, 2n$) ^{62}Cu を利用して中性子束分布を求めたが、 ^{62}Cu の半減期は9.8分と短いために、測定面の制約から照射試料の数は10分間照射では5枚、20分間照射では9枚しか同時照射ができなかった。従って問題はあるが中性子束分布の全体的傾向を把握するには10分間照射では4回分、20分間照射では2回分の実験値を合成せざるを得なかった。Fig. 4 と Fig5, 6 を同一基準で判断するには若干の無理があり、Fig. 4 では多少ビームの“ふらつき”の影響が現われているようである。Fig. 4 の等高線表示は省略したがビーム・センターは Fig. 7 とほぼ同位置であった(本装置ではターゲットの任意の個所にデュエテロ

ン・ビームをあて得る設計となっており、ターゲットとビームのセンターとは心ならずも一致していない)。

Fig. 8 はII-2-iii) の測定結果で、デュエテロウムのみを固定し、エクストラクション、フォーカス、加速電圧を運転毎に設定しなおした場合に、ターゲット・センター周辺における中性子束分布の変化を観察したものである。中性子束分布はエクストラクション、フォーカス変化にはあまり依存しないで、特定のパターン内で変化しているように思われる。フォーカスを変化させれば中性子束分布の型が変化する^{3), 9)} はずであるが、これは多分、現在高い中性子収量を得るためデフレクター¹⁾を取り去って中性子発生装置を使用しているために生じた現象かも知れない。

本実験では10時間程度使用したターゲットを使用したため、トリチウム層はかなり不均一な状態になっているものと思われる。Fig. 7 の結果は Kenna and Conrad⁵⁾ の論文と同傾向を示し、この事を裏付けている。この様なターゲットを用いても、中性子発生装置の使用が連続的な場合には、照射条件の設定の仕方と比較的安定した中性子束分布による実験も可能であるが、使用が断続的な場合には、照射試料位置における中性子束分布は大巾に変動する恐れがある(Fig. 8 参照) ので箔モニターなどの使用により照射中性子束を監視する必要があるだろう。

参考文献

- 1) 三木, 荒木: 近大原研年報, **2**, 103 (1964)
- 2) E. Ricci: J. Inorg. Nucl. Chem., **27**, 41 (1965)
- 3) S. S. Nargolwalla and E. P. Przybylowicz: Activation Analysis with Neutron Generator, Wiley-Interscience, New York, 1973.
- 4) J. Op de Beeck: J. Radioanal. Chem., **1**, 313 (1968)
- 5) B. T. Kenna and F. J. Conrad: Health Phys., **12**, 564 (1966)
- 6) 古田, 平岡, 藤代: 第10回理工学における同位元素研究発表会要旨集, P 47 (1973)
- 7) P. E. Wilkniss and G. J. Wynne: Int. J. Appl. Radiat. Isotopes, **18**, 77 (1967)
- 8) T. Kishikawa and C. Shinomiya: Bull. Chem. Soc. Japan, **43**, 1056 (1970)
- 9) R. V. Grieken, A. Speeche and J. Hoste: J. Radioanal. Chem., **10**, 95 (1972)
- 10) R. V. Grieken, A. Speeche and J. Hoste: ibid., **13**, 225 (1973)

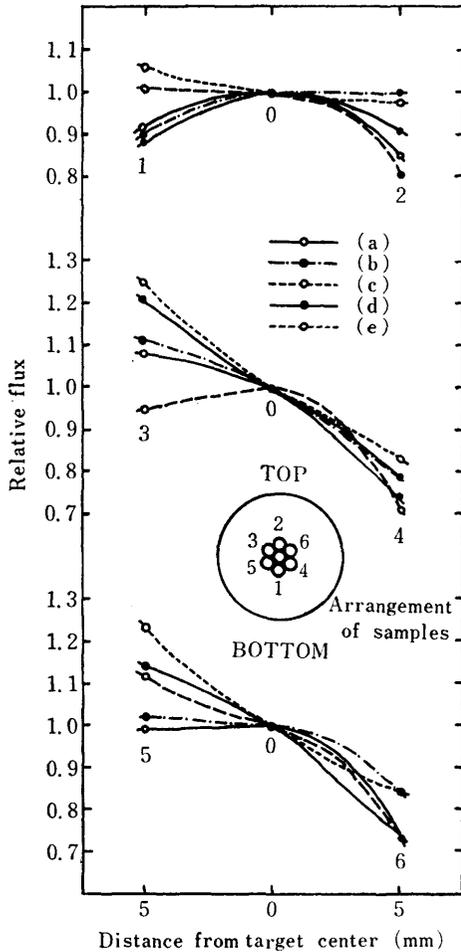


Fig. 8 Relative neutron flux near the center of the Al cap as a function of distance. Cu foils are placed at each numbered position and irradiated for 20 minutes.