

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009年度～2010年度

課題番号：21760707

研究課題名(和文) インクジェットプリンターを用いた中性子照射ターゲット作製方法の開発

研究課題名(英文) Development of preparation method for neutron irradiation targets using ink-jet printer

研究代表者

高宮 幸一 (TAKAMIYA KOICHI)

京都大学・原子炉実験所・准教授

研究者番号：70324712

研究成果の概要(和文)：インクジェットプリンターを用いた中性子照射ターゲットの作製方法を開発し、中性子線量分布測定を試みた。開発した中性子照射ターゲットを用いることで、従来複数の金線の同時照射などにより測定していた中性子線量分布を、一度の測定で簡便かつ高精度に測定可能であることを実証した。また、中性子照射ターゲットの材料にPETを用いると、エネルギースペクトルの分布に関する情報も同時に得られることを実証した。

研究成果の概要(英文)：A new preparation method of neutron irradiation targets using an ink-jet printer has been developed. Measurements of neutron distributions were performed using the developed targets. More convenient and precise measurements of neutron distribution can be obtained using the developed targets by comparison with a conventional method using metallic wires as targets. Information about distributions of energy spectra can be obtained at the same time using PET films as media of the neutron irradiation targets.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：核化学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：中性子・照射ターゲット・線量測定・線量分布測定・同位体・原子炉

## 1. 研究開始当初の背景

研究用原子炉では中性子放射化分析実験やRI製造など様々な中性子照射実験が行われている。これらの実験に使用される照射設備の中性子線量の分布を把握することは重要であり、金属線などを用いた放射化法により見積もられているが、照射ターゲットの自己吸収効果や、ガンマ線スペクトロメトリー時における自己遮蔽効果により、実験誤差が必ず生じる。そこで、これらの実験誤差の影

響が少なく、中性子線量の測定と同時にその分布に関する情報も得られるような、新たな中性子ターゲットの作製方法の開発が必要であると考えた。

## 2. 研究の目的

インクジェットプリンターを用いて、自己吸収効果や自己遮蔽効果が無視可能で、かつ均一な表面をもつ中性子照射ターゲットの簡便な作製方法を開発すること。

### 3. 研究の方法

研究用原子炉や加速器施設における中性子照射設備において、インクジェットプリンターを用いて金を塗布することで作製したターゲットを中性子により照射し、生成した放射能の分布をイメージングプレートにより測定し、中性子線量分布を得た。その後、照射したターゲットを分割し、Ge 半導体検出器によってガンマ線測定を行うことにより、中性子線量分布を得た。これらふたつの手法によって得られた分布を比較することにより、本手法で得られる中性子線量分布の妥当性について検討し、開発した中性子照射ターゲットの性能について検証を行った。

### 4. 研究成果

インクジェットプリンターを用いた中性子照射ターゲットの作製方法を開発し、中性子照射場における高精度での中性子線量分布測定を試みた。

開発したターゲットの作製方法は図1に示すように非常に簡便である。まず、金属溶液をインクジェットプリンターのインクカートリッジと混合し、これを用いて通常の文書印刷と同様に印刷媒体に印刷を行う。印刷媒体に塗布する金属の量や面積、形状などはPCを使って容易に変更することができるため、様々な中性子強度における測定が可能である。また、塗布される金属元素の量は非常にわずか（～数 ng/cm<sup>2</sup>）であるため、中性子照射時における自己吸収効果やガンマ線スペクトロメトリーにおける自己遮蔽効果を無視することができ、従来の金属線などのターゲット材と比べ、実験誤差を小さくすることができる。さらに、金属箔に比べ強度が高く金属板よりも柔軟であるため、中性子照射キャプセルの内壁など、これまで照射ターゲットを設置することが困難であった場所でも容易に測定することが可能となった。

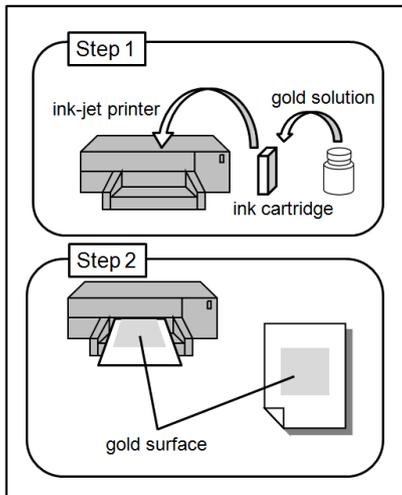
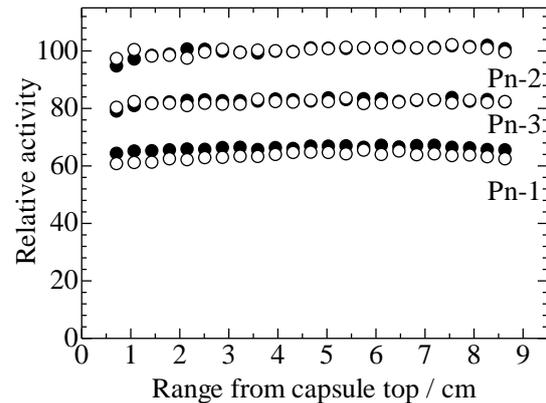


図1 インクジェットプリンターを用いたターゲット作製方法の概略

この方法で作製した照射ターゲットを用いて、京都大学研究用原子炉（KUR）および韓国原子力研究所の圧気輸送管照射設備や陽子加速器施設などの広い中性子線量レンジの中性子照射場において照射実験を行い、イメージングプレートを組み合わせた中性子線量測定を試みた。圧気輸送管照射設備においては、照射キャプセル内の垂直方向および水平方向の中性子線量分布の測定を行い、これまで複数の金線などを用いて行われていた照射キャプセル内線量分布測定が、一度の測定で簡便かつ高精度に測定可能であることを実証した。さらに、中性子照射ターゲットの材料としてPETフィルムを用いることにより、中性子のエネルギースペクトルに関する情報も同時に得ることができるとが分かり、照射キャプセル内の中性子線量分布およびエネルギースペクトルの時間変化について測定を行った。

図2にKURの圧気輸送管照射設備（Pn-1, -2, -3）における、照射ターゲット物質として金およびアンチモンを用いた際に得られ



た垂直方向の中性子線量分布を示す。

図2 Pn-1, -2, -3の垂直方向の中性子分布（●:金、○:アンチモン）

この図から、圧気輸送管照射設備における照射キャプセルの垂直方向での中性子線量にはPn-1で4%、Pn-2で8%、Pn-3で7%の差異が存在することがわかった。

また、図3にはKURの黒鉛設備圧気輸送管照射設備（TC-Pn）において、金をターゲット物質として用いた際に得られた、照射キャプセルの軸方向の中性子線量分布を示す。TC-Pnでは同時に3個のキャプセルが照射可能であるため、キャプセル輸送管の端から3つのキャプセル位置について中性子線量分布が得られた。この結果、隣接する照射キャプセル間で平均中性子線量に約10%の違いがあることが明らかとなり、3つのキャプセルを用いて同時に照射する場合、キャプセル内での中性子線量に最大約30%の差異があることが分かった。

これらの結果から、KURの圧気輸送管照射設備を用いて中性子照射を行う際には、キャプセル内（TC-Pn の場合にはキャプセル間についても）における中性子線量の差異を十分考慮した試料配置を行う必要があることがわかった。特に比較標準法を用いる中性子放射化分析実験などにおいては、キャプセル内での分析試料と標準試料の配置について注意する必要があることがわかった。

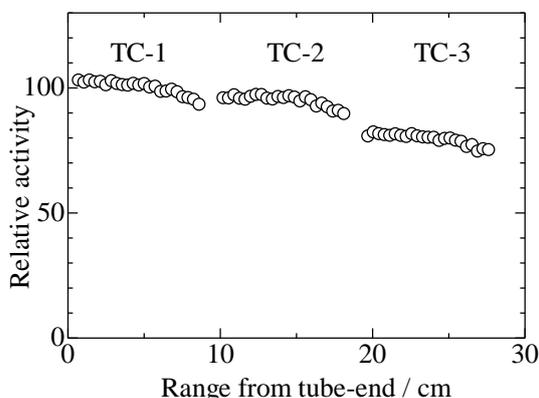


図3 TC-Pnにおけるキャプセル軸方向の中性子分布

従来の手法を用いてこの図のような詳細な中性子線量分布を得るためには、4mmの長さの金線を多数（本実験の場合は23個）調製する必要があり、それぞれの金線に対して照射後にGe半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーを行う必要があるが、本手法では1個の照射ターゲットを用い、イメージングプレートによる1回の測定で中性子線量分布が得られる。このような手法は他に例がなく、中性子線量分布測定法の新たなスタンダードとなる可能性がある。

図4に圧気輸送管照射設備（Pn-2）において、金およびアンチモンの中性子照射によって生成する $^{198}\text{Au}$ と $^{122}\text{Sb}$ の生成比と、原子炉起動からの経過時間との相関を示す。

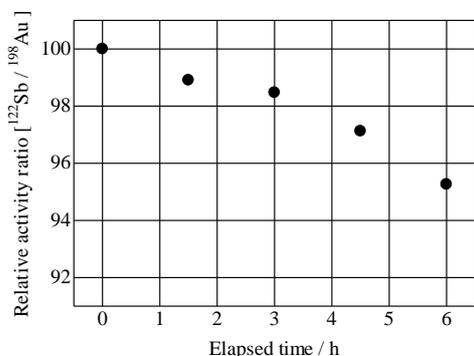


図4 Pn-2におけるKUR起動直後からの $^{122}\text{Sb}$ と $^{198}\text{Au}$ の生成放射能量比の時間変化

この図から放射能生成比が時間経過とともに減少していることがわかるが、これはPn-2において照射される中性子のエネルギースペクトルが、時間経過とともに低エネルギー側にシフトしていることを示している。このように照射ターゲット物質として複数の元素を用いることで、中性子線量のみならず中性子エネルギースペクトルに関する情報も同時に得ることができるとわかった。

また、本手法による中性子線量の2次元分布測定を試みた。実験はKURの圧気輸送管照射設備および陽子加速器における中性子源を用いて行った。KURの圧気輸送管照射設備においては、照射キャプセル内の内壁に沿うように中性子照射ターゲットを設置して照射を行い、イメージングプレートを用いてターゲット中に生成した放射能分布の測定を行った。

図5にPn-2において測定した中性子線量の2次元分布を示す。図5では中性子線量を色で表わしており、図2に示した照射キャプセルの垂直方向での1次元の線量分布を照射キャプセルの円周に沿って展開したものとなる。

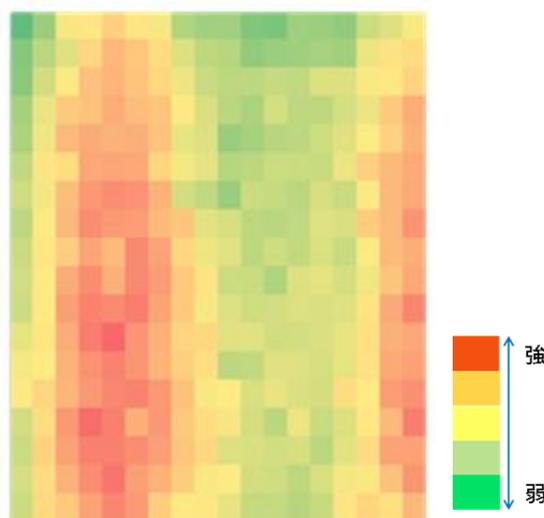


図5 Pn-2の照射キャプセル内壁における中性子線量の2次元分布

さらに、広範囲での中性子分布測定試験を行うために、加速器中性子源施設から得られる中性子ビームの2次元分布測定も試みた。測定に用いた照射ターゲットは200mm×270mmの大きさで作製し、加速器中性子源施設の中性子出射口に、陽子ビーム軸に対して垂直に配置して中性子の照射を行った。90分間の照射後、照射ターゲットを取り出し、イメージングプレートを用いて生成した放射性物質の分布の測定を行った。この結果、図6に示すような中性子線量分布を観測

することができた。

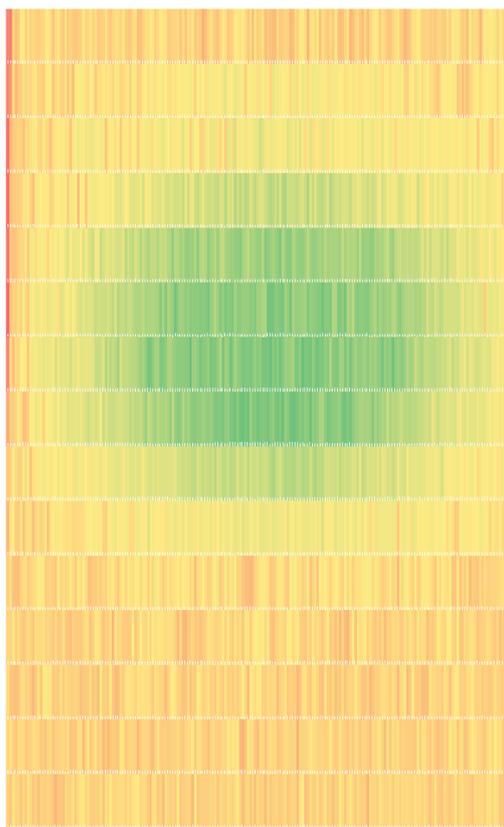


図6 加速器中性子源施設の  
中性子出射口における中性子分布

このように2次元での分布を測定することにより、中性子の分布の原因などを推測することが可能となり、中性子照射実験における最適な照射条件の設定などにおいて有用な情報が得られることがわかった。

また、イメージングプレートを用いた測定とGe半導体検出器による測定との比較実験を行い、中性子線量の絶対測定への可能性に関する評価を行い、位置分解能についても比較を行った。その結果、イメージングプレートを用いた測定結果が、Ge半導体検出器を用いた測定によって得られた中性子線量分布をよく再現することが確認され、かつ高い位置分解能で測定可能であることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① K. Takamiya, M. Takimoto, S. Shibata, R. Okumura, Y. Nakano, J. H. Moon, S. H. Kim, "A NEW PREPARATION METHOD FOR NEUTRON MONITOR USING INK-JET PRINTER", *Radiochimica Acta*, 査読有, (掲載確定)

[学会発表] (計2件)

① K. Takamiya, M. Takimoto, S. Shibata, R. Okumura, Y. Nakano, J. H. Moon, S. H. Kim, "Neutron Distribution Measurements at Research Reactors Using A New Neutron Monitor", International Conference on Application of Radiotracers in Chemical, Environmental and Biological Sciences (ARCEBS), 2010/11/12, Kolkata, India

② 瀧本真己、高宮幸一、柴田誠一、奥村 良、中野幸広、J. H. Moon、S. H. Kim、「インクジェットプリンタを利用した簡便で高精度な中性子分布測定法の開発」、2010 日本放射化学会年会・第54回放射化学討論会、2010/09/27、大阪

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高宮 幸一 (TAKAMIYA KOICHI)

京都大学・原子炉実験所・准教授

研究者番号：70324712