

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20612007

研究課題名（和文） 小型中性子源用の加速器ターゲットの最適設計法に関する研究

研究課題名（英文） Studies on optimized design of an accelerator target for a small size neutron source

研究代表者

竹中 信幸 (TAKENAKA NOBUYUKI)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50171658

研究成果の概要（和文）：

小型中性子源用の加速器ターゲットの最適設計法に関する研究を行い以下の結果を得た。数 MeV 程度の陽子線では、ベリリウムよりリチウムを用いた方が中性子のイールドは高いが、気体が発生するため固体での利用は適しておらず、液体リチウムターゲットを検討した。2.5 MeV の陽子線を利用する場合には、リチウム液膜は 70 μm 以上必要である。円盤による巻上げ法を提案し 300 μm 程度の液膜が形成できた。

研究成果の概要（英文）：

Studies were carried out on optimized design of accelerator target for a small size neutron source. Following results were obtained: Neutron yield by using a Lithium target was higher than that using a Beryllium target. The liquid Lithium target was considered since solid Lithium was not suitable for the target due to gas production. The liquid Lithium layer thicker than 70 μm was required for a 2.5 MeV proton beam. A role-up method by a disk was proposed and the layer around 300 μm could be formed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：中性子源、小型、加速器、ターゲット、リチウム

1. 研究開始当初の背景

(1) 中性子線を量子ビームとして科学技術の研究開発に利用すること、さらには産業に応用することが期待されている。このような利用を促進するためには、巨大加速器を用いた J-PARC や高出力研究炉である JRR-3 のような大型設備が必ずしも必要でない利用や予備照射のための利用に加速器を用いた小型中性子源の普及が望まれている。

(2) 数 MeV 級の小型加速器による陽子線で中性子が発生させるには、リチウムやベリリウムの固体ターゲットとリチウムの液体ターゲットが考えられている。ベリリウムについては、20MeV 程度の連続陽子線を用いた固体ターゲットで実績があるが、数 MeV では中性子発生数が少なくなる。一方リチウムでは、数 MeV 程度でも中性子発生数は期待

できるが、融点が低く、核反応に伴い水素やヘリウムの気体が発生すること等に対する工学的検討が必要であり、中性子発生効率のよい、安全でコンパクトな小型中性子源用の加速器ターゲットの開発が期待されている。

2. 研究の目的

(1) 小型で高性能な中性子源を開発するためには、加速器のターゲット、減速材、中性子光学機器の設計開発が必要であり、ターゲット設計については、中性子工学による核的設計とともに、ターゲットを冷却し安全に中性子線を発生させるための熱水力学による熱的設計が必要であるが、ターゲットの熱水力設計法が確立されているとは言い難い。本研究では、小型加速器による数 MeV 程度の陽子線ターゲットの熱水力設計法に関する工学的な基礎研究を行い、種々の高性能小型中性子源設計の検討に活用する。

(2) 液体リチウムのターゲットでは核反応による気体発生の問題は少なく、ターゲットシステムを検討し、実験装置を試作して液体リチウムの流動を検討する。

3. 研究の方法

(1) リチウムに関する核特性を検討し、ビームを特定してターゲットの設計条件を決定する。核反応に伴う気体の発生量、中性子を有効に発生させるためのターゲットの厚さを計算する。

(2) その条件をもとに、冷却可能な液体リチウムターゲットの形状を検討する。実験装置を試作し、液体リチウムを用いた実験を行ってターゲットとして適切であることを実証する。

4. 研究成果

(1) リチウムは2~2.5 MeV の陽子線と反応して中性子を発生するので、小型加速器で発生できる 2.5 MeV の陽子線照射を検討した。この程度のエネルギーでは、リチウムの中性子イールドはベリリウムより1桁程度高く、ターゲット材料として適している。

問題となる陽子線照射により発生する気体量を推定した。2.4 MeV 陽子一個をリチウム7照射すると、アルファ線が約 6.5×10^{-5} 個発生する。電流を 1 mA とし1年間照射したとして概算すると、標準状態で水素 3500 cc、ヘリウムは 0.44 cc 程度発生すると推定される。水素はリチウムと反応して水素化リチウムとなるが、このような気体の発生量では固体リチウムをターゲットに用いることは困難であり、気体が排出される液体リチウムターゲットを検討することとした。

図1に ${}^7\text{Li}(p, n)$ 反応の断面積を示す。有効

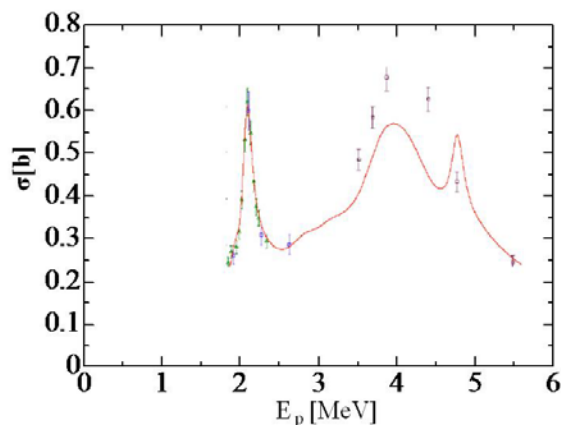


図1 ${}^7\text{Li}(p, n)$ 反応の断面積

に中性子を発生させるためにはリチウム中で2.5 MeV 陽子線のエネルギーを2.0 MeV 以下にするリチウムの厚みが必要である。2~2.5 MeV の陽子線に対するリチウムの dE/dx は約 7 MeV であるので、0.5 MeV 以上エネルギーを低下させるために、リチウムの厚さは $70 \mu\text{m}$ 以上必要なことが分かる。

以上のことから、 $70 \mu\text{m}$ 以上の厚さの液体リチウム層を安定に形成する方法を検討することにした。

数 MeV で $1 \mu\text{A}$ 程度の陽子線では、真空窓として数十 μm 程度のベリリウム箔が用いられることがある。厚さ $25 \mu\text{m}$ のベリリウム箔では0.5 MeV 程度のエネルギー低下があるので3 MeV のビームを用いれば、原理的に窓を介して同様の照射が可能である。しかし、電流を 1 mA とするとベリリウム箔 0.5 kW の発熱が生じ、除熱は困難であることが分かった。したがって、窓を使用せず、真空中で液体リチウムを使用する必要がある。リチウムの蒸気圧は 300°C では、 10^{-6} torr 程度であり、ビームラインへのリチウム蒸気の侵入を防ぐ適切な排気法が必要である。

(2) 液膜を形成する方法としては、液体を壁に沿って流下させる流下液膜法、液体中から金属テープを連続的に引上げる方法、液体中に金属円盤の下半分を浸漬し回転させて巻上げる方法等が考えられる。流下液膜法ではポンプを必要とし、条件によっては気液界面が不安定になり波打つ可能性がある。引き揚げ法は、鉄板に亜鉛や錫をメッキする溶融メッキ法が実用化されており、引き揚げ速度でメッキの厚さが制御できることが知られている。検討を行ったが小型の装置で連続的に行うことは装置の設計上困難であることが分かった。そこで、リチウムを入れた容器に円盤の下半分を沈め、回転させてリチウム液膜を巻上げる方法を検討した。この方法では、ポンプ等の液体循環系は必要なく、リチウムの冷却は容器で行うことができ、コンパ

クトなターゲットシステムが期待できる。

実験は図2に示すグローブボックス内をヘリウム置換し試験装置を設置して行った。

図3に実験装置の概略を示す。リチウム容器はステンレス鋼製で、高さ75 mm、幅60 mm、厚さ30 mmであり、リチウムを注入排出するためのパイプが取り付けられ、排出時に底部に液が残らないように25mmのRを付けてある。容器にはシースヒータが巻かれ断熱されており、シース熱電対でリチウムの温度を測定する。円盤は銅製で直径100mm、厚さ5mmで、真空用の5相ステッピング・モーターに直結され、リチウムを満たしたステンレス鋼容器に円盤の下部を浸し、回転させて円盤上部まで液膜を巻上げる。

液膜の厚さを測定するためにグローブボックス外部にレーザー変異計を設置し、ガラス窓を介して液膜厚さを測定した。空の容器に円盤を設置し、まず液膜のない状態で、回転している円盤表面までの距離を測定した。その後、液体を満たして円盤を回転させ、液膜のある状態で液膜表面までの距離を測定した。両者の位相を合わせ引き算することにより液膜の厚さが測定できる。予備実験として、水と熔融鉛ビスマスを用いて液膜厚さ測定を行い、測定が可能なことを確認してリチウムの実験を行った。

図2に測定結果の一例を示す。回転数は180 rpm であり、リチウムがない場合の距離を赤線で、リチウムがある場合の距離を青線で、差を黒線で示してある。軸を合わせてあるので円盤表面までの距離の変動は小さい。リチウム表面に酸化物等の微小な不純物が残るためノイズを多く含んでいるが、緑の線で平均値をします。液膜の厚さは、ほぼ300 μm程度であり、中性子を有効に発生させるために必要な70 μmより、厚い液膜が形成できることを確認した。



図2 グローブボックス

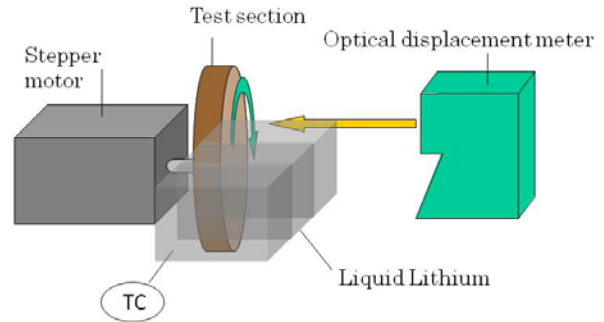


図3 実験装置の概略図

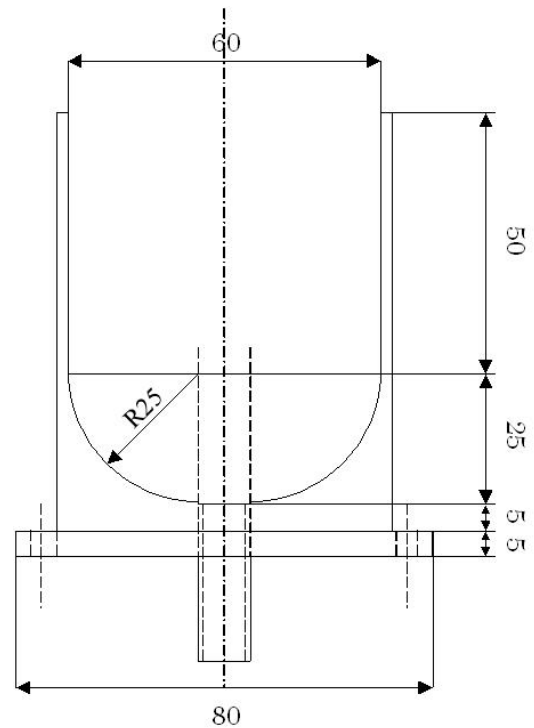


図4 試験部

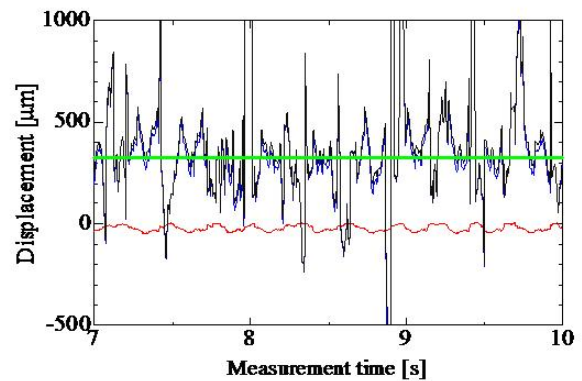


図5 液膜厚さの測定例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

①市川泰資、村川英樹、竹中信幸
小型中性子源用加速器ターゲットの熱水力設計
日本混相流学会年会講演会 2010

[図書] (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹中 信幸 (TAKENAKA NOBUYUKI)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50171658

(2) 研究分担者

村川 英樹 (MURAKAWA HIDEKI)
神戸大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：40467668

(3) 連携研究者

川合 将義 (KAWAI MASAYOSHI)
大学共同利用機関法人高エネルギー
加速器研究機構・加速器研究施設・
名誉教授
研究者番号：10311127

清水 裕彦 (SHIMIZU HIROHIKO)
大学共同利用機関法人高エネルギー
加速器研究機構・物質構造科学研究所・
教授
研究者番号：50249900

三島 賢二 (MISHIMA KENJI)
独立行政法人理化学研究所・延興放射線
研究室・基礎科学特別研究員
研究者番号：20392136