

加速器パルス中性子源用高性能低温減速材の開発

学位論文内容の要旨

現在、各国で大型陽子加速器を用いた中性子散乱実験用大強度スポレーション中性子源の建設計画が進行中である。このような大型施設では、散乱実験に応じて複数の中性子減速材を設置する。現在考えられている減速材の種類としては、大強度型冷中性子源、高分解能実験用のショートパルス型冷、熱中性子源がある。これらはいずれも減速材を低温にして用いるので低温減速材と呼ばれる。

大強度型冷中性子源としては、結合型液体水素減速材が候補と考えられている。この減速材は最近開発されたもので、最適化が充分行われていない。また、これをベースとした発展型の減速材開発の可能性もある。ショートパルス型冷中性子源としては、非結合型液体水素減速材が候補となっているが、この冷中性子強度特性を向上させた減速材も考えられている。ショートパルス型熱中性子源としては、従来液体メタンが使われてきたが、大強度線源では、放射線損傷のため、使用が困難視されている。代替物としては、非結合型液体水素減速材が挙げられるが、性能が非常に劣るため、新しい減速材の開発が強く望まれている。

本論文ではMW級スポレーション中性子源における低温減速材、特に大強度型冷中性子源と高分解能実験用ショートパルス型熱中性子源について新たな減速材を提案し、その中性子特性を調べるとともに、その支配要因を実験及び数値計算により明らかにすることを目的としている。また、代表的な中性子散乱実験について利得指数を定義して、ここで提案した新型減速材の性能を既存の減速材の中性子特性と比較、評価した。

1章は序論で、中性子源の現状、将来計画における低温減速材の課題、本研究の目的、論文の構成について述べた。

2章では実験手法、計算手法について説明を行った。本研究のために製作した実験装置を含め減速材集合体や本研究のために整備した数値計算コードシステムの概要について説明した。

3章では大強度型冷中性子源の開発について述べた。まず、結合型液体水素平板減速材の最大強度となる条件を求めるため、減速材厚さ及びターゲット位置の影響について調べた。その結果、ターゲット位置は減速材下部で多少移動しても冷中性子強度にほとんど影響しないこと、及び減速材の最適厚さは5cmであることがわかった。次に、放出面全体からの冷中性子強度を増大させる方法として、結合型グルーブド液体水素減速材体系について冷中性子強度と放出時間分布を調べた。グルーブド減速材は減速材表面に溝をつけ、冷中性子束の高い減速材中

心部からビームを引き出すものである。非結合型固体メタン減速材体系ではグルーブド減速材により5Å中性子で約50%の強度増加が得られることが知られているが、結合型液体水素減速材体系では約15%の増加であった。その原因を調べるため、結合型平板減速材や非結合型減速材と実験・計算により比較検討を行った。その結果、液体水素の水素数密度の低さと結合型減速材内部の冷中性子束分布の特徴、すなわち表面強度に対する減速材中心部の強度の比が固体メタン減速材に比べて小さいことが原因であることがわかった。

大強度冷中性子源を利用する代表的な分光器である中性子反射率計や小角散乱装置は、ビームの角度分散を抑えるために減速材表面の狭い範囲しか見ていない。そのため、局所的に中性子束を増加させることは有効であると考えられる。この目的のためにグルーブド減速材の一つの溝のみを用いるシングルグルーブ減速材を提案し、中性子特性を調べた。その結果、単位面積当たりの冷中性子束は中性子波長とともに増加し、5Åで約30%、10Åで約50%増えた。

4章では混合減速材について述べた。混合型減速材は液体水素の水素数密度の低さを補うために、密度の高い固体物質の粒をまぜ、冷中性子強度を増やそうとするものである。混合物質を循環させ、固体減速材の粒を連続的に置換することにより、放射線損傷の影響を取り除くことができると考えられている。本研究では液体水素にポリエチレンの粒を混ぜた混合減速材について、実験により強度、パルス形状を調べ、液体水素減速材と比較した。その結果、液体水素減速材に比べ熱中性子領域で強度は約2倍に増加しており、その一方でパルス幅はほとんど伸びていないことがわかった。これは高分解能型熱中性子源として非常に有利な特性である。中性子輸送過程の考察から、この中性子特性は低温ポリエチレンの運動モードから説明できることを示した。また、熱中性子源に一般的に用いられているB₄Cデカップラー(デカップリングエネルギー $E_d=2.5\text{eV}$)に代えてCdデカップラー($E_d=0.4\text{eV}$)を用いることで、混合型減速材では約30%の強度増加が得られることを示した。さらに、本研究で開発した混合型減速材の性能を、高分解能中性子回折、中性子非弾性散乱測定に対する利得指数で評価した。その結果、熱中性子源としては、液体水素に比べて非常に良い特性を持つこと、また液体メタンと比べてもそれほど変わらない特性を持つことがわかった。また、ショートパルス型冷中性子源としても、液体水素減速材と比べて同等以上の性能を持つことがわかった。以上のことから本研究で開発した混合型減速材は、ショートパルス型熱中性子源、冷中性子源の両方の用途に適した、優れた中性子特性を持っていることが明らかとなった。

5章では、本研究によって得られた結果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鬼 柳 善 明

副 査 教 授 成 田 正 邦

副 査 教 授 榎 戸 武 揚

副 査 教 授 澤 村 貞 史

学 位 論 文 題 名

加速器パルス中性子源用高性能低温減速材の開発

現在、各国で大型陽子加速器を用いた中性子散乱実験用大強度スポレーション中性子源の建設計画が進行中である。このような大型施設では、散乱実験に応じて複数の中性子減速材を設置する。現在考えられている減速材の種類としては、大強度型冷中性子源、高分解能実験用のショートパルス型冷、熱中性子源がある。これらはいずれも減速材を低温にして用いるので低温減速材と呼ばれる。大強度型冷中性子源としては、結合型液体水素減速材が候補と考えられているが、これをベースとしたより大強度の減速材開発の可能性がある。ショートパルス型熱中性子源としては、従来液体メタンが使われてきたが、大強度線源では放射線損傷のため、使用が困難視されている。そのため、これに代わる新しい減速材の開発が強く望まれている。

このような背景のもと、本論文では、大強度スポレーション中性子源における低温減速材、特に大強度型冷中性子源と高分解能実験用ショートパルス型中性子源について新たな減速材を提案し、その中性子特性を実験的に調べるとともに、その中性子特性の支配要因について検討を行ったものである。また、その性能を既存の減速材と比較、評価している。その主な成果は以下のように要約される。

大強度型冷中性子源の候補と考えられている結合型液体水素減速材で最大強度を得られる条件を明らかにした。また、この減速材をベースとして、グループド減速材、狭いビーム取り出しについて実験的研究を行った。結合型液体水素減速材では、グループの効果が非結合型と比べると劣るが、その原因は、非結合型と比べると減速材内部と表面近傍の中性子束強度の差が小さいためと水素数密度が低いためであることを明らかにした。より大きな強度を得るため、両者を組み合わせたシングルグループ減速材について調べた結果、冷中性子強度は波長とともに増加し、従来型と比べ10 Å中性子では強度が1.5倍になることを示した。

ショートパルス型減速材として、ポリエチレンと液体水素を混ぜた混合減速材について中性子特性を調べた。これは液体水素の水素数密度の低さを補うために、密度の高いポリエチレンの粒をまぜ、冷中性子強度を増やそうとするものである。この種の減速材についての実験的研究は世界で初めてのものである。この減速材では、液体水素減速材に比べ熱中性子領域で強度は約2倍に増加しており、その一方でパルス幅はほとんど伸びていないことがわかった。これは高分解能型熱中性子源として非常に有利な特性である。この減速材の性能を利得指数で評価した結果、熱中性子源としては、液体水素に比べて非常に良い特性を持つこと、また、これまで用いられてきた液体メタンと比べても、優れた特性を出せることを明らかとした。さらに、ショートパルス型冷中性子源としても、液体水素減速材と比べて同等以上の性能を持つことを示した。

以上要するに、著者は大強度パルス中性子源で必要とされる中性子特性の優れた減速材を開

発するとともに、その特性の支配要因についても明らかにしており、加速器中性子源工学の進歩に寄与するところ大である。

よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位授与される資格あるものと認める。