

The Transmission Efficiency of the Neutron Guide Tube with Alignment Errors

Y.Kawabata, M.Suzuki, M.kudo, H.Takahashi and M.Sakamoto*

Department of Research Reactor Operation and
Department of Physics*,
Japan Atomic Energy Research Institute

Abstract

The neutron guide tubes (NGT) have been planned on the reconstructed JRR-3 in JAERI. The experimental studies on the neutron transmission efficiencies of neutron guide tubes are carried out by using thermal neutrons from the JAERI electron linac, on the 1/10 scale model (2mm width and 1.8m length) of the planned NGT, in order to investigate the performance of the planned NGT and verify experimentally the design calculations by the Neutron Guide Tube Analysis Code 'NEUGT'. The results show an enough efficiency in accordance with the calculated results by 'NEUGT' code for the 1/10 scale model with and without the alignment errors.

中性子導管の設置誤差が中性子透過特性に及ぼす影響

1. はじめに

JRR-3改造炉に設置する中性子導管の設計に資するため、実機の1/10スケールの中性子導管を原研のLINACに設置し、実機が十分な性能を持ち得ること及び中性子導管の設計評価のために開発された中性子導管特性解析コード「NEUGT」の検証を目的として特性を測定した。

中性子導管とは、Ni等の金属表面でおこる中性子の全反射を用いて、長波長中性子を少ない損失で遠方まで導く装置である。フランス、グルノーブルのILLの中性子導管群を始め、研究用原子炉ばかりでなく、パルス中性子源にも設置されており、その有用性は示されている。小規模なものは、既に各地で作られているが、大規模導管群となると、それほど設置例は多くない。

中性子導管の特長を述べると、

- 1) 遠方まで中性子を導く途中で、中性子導管中のビームを分岐することにより、いくつもの実験装置を設置することができるため、中性子利用効率が極めて高い。
- 2) 炉心から離れた所まで損失少なく中性子を導けるため、実験用スペースが十分にとれる。
- 3) 中性子導管の曲率、幅を変えることにより、透過する中性子の特性波長を変え、

必要なエネルギー領域のみを取り出すことができる。つまり γ 線、高速中性子の様なバックグラウンドを落すことができる。

原研のJRR-3改造計画でも中性子の利用効率を上げるために、熱中性子用導管（特性波長2 A、長さ58 m、57 m）が2本、冷中性子用導管（特性波長4 A、6 A、長さ44 m～27 m）が3本設置される。ここではこの中性子導管群の性能の確証のため、実機の1/10程度のモデルを作り、設置誤差と中性子透過特性の関係を中性子を用いた実験で示したうえで、実機が十分な性能を出し得ることを示す。

またJRR-3改造炉の中性子導管群の設計のために中性子導管特性解析コード「NEUGT」が開発されている。これは中性子導管中を通過する中性子の軌道を追っていくもので、導管が矩形ユニットできていることを正しくモデル化している。導管中の中性子反射は鏡面反射と考え、鏡管ユニット間の接合誤差の影響3次的に計算できるようになっている。このコードは現在各地に設置されている中性子導管のうちのいくつかについて、その特性を良く再現しており、接合誤差のないものに対しては良い計算結果を示すことが既に確認されている。ここではこれに加え、接合誤差が透過特性に及ぼす影響についても実験と比較することで、このコードが有効であり、このコードによって行われた設計評価が適切であることを示す。

2. 実験配置

実験は、原研 electron linac で行い、ポリエチレン・コンバータを通した熱中性子で実験を行った。linac の運転モードは、パルス幅 1 μ s、パルス繰返し 50 pps である。コンバータにより中性子パルス幅が広がり、波長 1 A に対し約 16 μ s、波長 4 A に対し約 60 μ s となる。エネルギー弁別は飛行時間法を用いた。ターゲットと中性子導管入口間の距離は 6 m、ターゲットと検出器間の距離は 8 m である。実験配置を第1図に示す。

実験で用いた中性子導管は、実機を 1/10 スケールで模擬するため、中性子透過断面の幅を 2 mm とした。断面高さは 60 mm、各ユニットの長さを 300 mm とし、これを 6 本並べて全長 1.8 m とした。

反射面は実機と同様に硼珪酸ガラスの表面を磨き、鏡面にした上で、ニッケルを 1000 A 以上蒸着した。表面の平滑度は、触針法で測定し、平均表面粗さは 100 A 以下（カットオフ 0.8 mm）であることを確認した。各導管ユニットの製作精度は 0.01 mm 程度以下である。これを支持調整機構で支え、マイクロメータで設置位置を調整した。鏡管ユニット及び支持調整機構の形状を第2図に示す。各鏡管ユニットは、まず光及び釣糸で直線状に並べ、その後マイクロメータで水平方向に移動させることで全体を湾曲させ、目的の位置に設置した。その設置位置誤差は 0.1mm 以下である。 ^3He 検出器の前に、0.5 mm のスリットを置き、導管出口からの分布を測定した。

3. 実験結果

3.1 直導管

直導管として十分な性能が有ることを示すため、入射ビームと6つのユニットを直線に接続したときの透過中性子数を比較した。この結果本来は広がってしまうビームが検出器位置まで導かれることにより発散を防ぐことができ、損失少なく利用出来ることが示された。波長 0.5 ~ 1.5 A についてはビームの発散のため反射しない成分が多くなるため入射ビームの約 65 % が透過し、1.5 ~ 2.5 A についてはほとんど 100 % が透過して

きている。以下の透過率計算では、入射ビームの角度発散による効果をキャンセルするために、この設置誤差のないように並べた直導管の透過率を1と考え、これに対する比を透過率として定義して示す。

3.2 平行ずれ

特性波長が2 Aとなるように中性子導管を設置した後、4番目の鏡管ユニットを水平方向にずらした。

第3図に導管幅の10% (0.2 mm) のずれを導管の曲がり方向の内側にずらした場合及びずれなしの場合の透過率を「NEUGT」の計算結果と共に示す。実験結果と計算結果は良く一致しており、水平方向の誤差に対してもこのコードは有効であることが示された。

3.3 角度ずれ

鏡管ユニットの設置において、設置角が透過特性に及ぼす影響を調べた。第1図に示したA型とB型の誤差に対して、特性波長2 Aに設置した時に0.05° ずれた場合の透過率を第4図及び第5図に示す。透過率には「NEUGT」の結果も示した。実験との差は中性子導管の設置上の誤差から説明できるため、角度誤差に対しても良い結果を示すことがわかった。

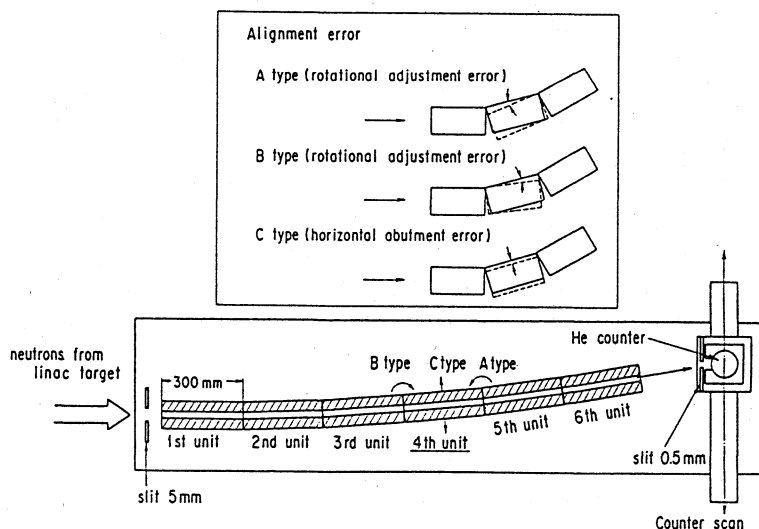
特性波長より速い1 Aの中性子ではA型とB型に差はない。これはこの角度誤差による中性子導管の折れ曲がり方が同じであるため、反射角への影響が等しく、同程度に失われるためである。しかし、特性波長である2 A程度になると反射角度の制限が緩やかになり、反射時の損失よりもギャップの形による効果が大きくなり、A型のほうが透過特性が良くなる。

4. 結論

JRR-3改造炉に設置する中性子導管の性能を実証するために実機の1/10スケールで長さ1.8 m (実機18 m相当) の導管を作り、実験を行った。直導管を構成すると、ソース・ビームの内、波長1.5 A~2.5 Aの中性子のほぼ100%が透過し、十分な性能を示した。

曲導管に対しても特性波長2 Aの導管に対して良好な透過率を示した。

実機はここで製作したものより、10倍以上長いが、同程度の収率を得るには設置誤差に対する厳しさが1桁落ちて良いため、ここで示した程度の性能は十分達成可能と考えられる。また1/10にスケールダウンしなかった鏡管ユニットの長さについても、実機ではこのモデルの鏡管ユニット長の10倍よりも短くなり、円弧近似を高

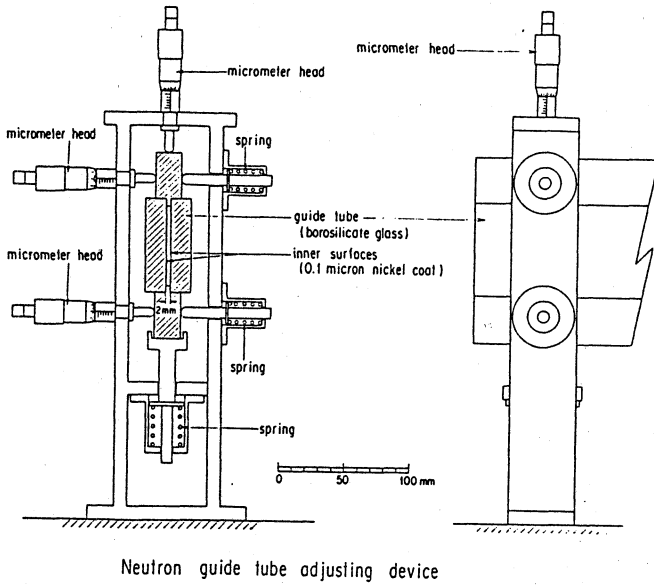


Experimental arrangements on neutron guide tube

第1図 実験配置

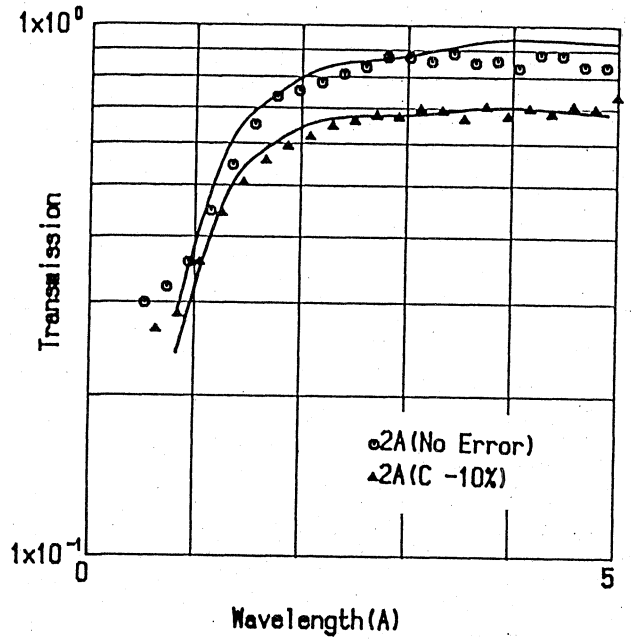
めるため、ここで示した以上の性能を得られる。

以上により、中性子導管特性解析コード「NEUGT」は、理想的に配置された時ばかりでなく、設置誤差がある場合でも十分正しく中性子透過特性を計算することが示された。

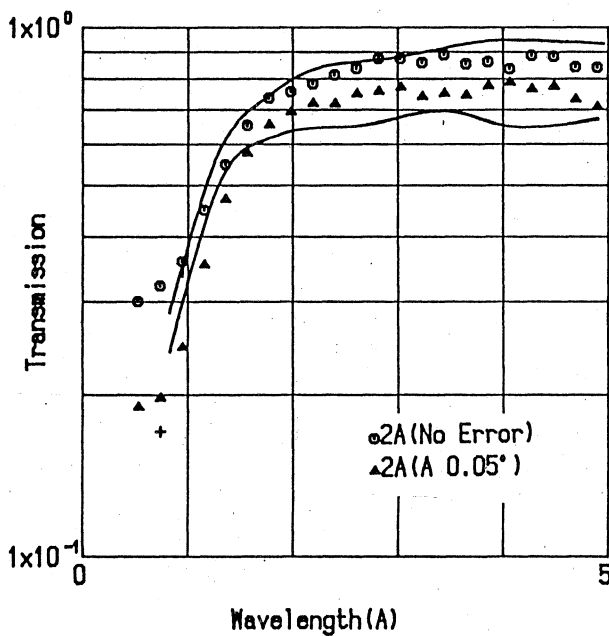


Neutron guide tube adjusting device

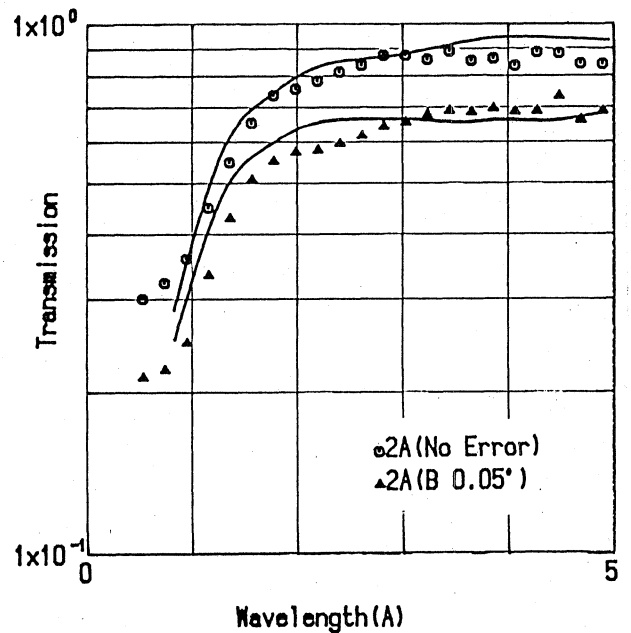
第2図 鏡管ユニット及び支持調整機構の形状



第3図 設置誤差が曲導管（特性波長2 Å）の透過率に及ぼす影響
平行ずれ 10%、誤差なし



第4図 設置誤差が曲導管（特性波長2 Å）の透過率に及ぼす影響
角度ずれ A型 0.05°、誤差なし



第5図 設置誤差が曲導管（特性波長2 Å）の透過率に及ぼす影響
角度ずれ B型 0.05°、誤差なし