核データを利用したパルス中性子透過分光法による密度定量イメージング手法の検討

Study of Quantitative Density Imaging Technique by Pulsed Neutron Transmission Spectroscopy with a Nuclear Data

*石川 裕卓[1]，佐藤 博隆[1,2]，加美山 隆[1,2]，大沼 正人[1,2]
[1]北海道大学大学院工学院，[2]北海道大学大学院工学研究院

パルス中性子透過分光法により取得される全断面積に核データをフィッティングし、測定試料を構成する各物質の密度を定量する手法について検討した。

キーワード：パルス中性子透過分光法，中性子ラジオグラフィ，核データ，密度定量イメージング

1. 緒言

中性子ラジオグラフィは、物体内部の非破壊検査のみならず、物体内部にある物質の密度や厚さの評価にも用いられている[1]。しかし、密度や厚さの定量評価を行うには、評価したい物質のみの中性子透過率を測定する必要がある。また、ビームハードニングの影響を補正するため、実効全断面積[2]というパラメータを施設毎、試料毎に取得しなければならない。これらの課題を解決するため、パルス中性子透過分光法の適用が考えられる。パルス中性子透過分光法では、エネルギー毎の中性子全断面積が測定できる。よって核データが利用可能となり、実効全断面積を取得する必要がなくなる。さらに、実測された透過率に核データから計算される透過率データをフィッティングすれば、試料を構成する様々な物質を透過してきた中性子透過率からでも、特定の物質の密度を推定することができると考えられる。

本研究では、フィッティングに使用する中性子エネルギー領域としてポテンシャル散乱（PS）領域を選択した。PS 領域（サブ eV ～ 数十 eV）は、ブラッグ散乱の生じる冷・熱中性子領域と共鳴領域の中間の領域である。PS 領域では、核データであまり考慮されていないブラッグ散乱が弱いため、冷・熱中性子領域を用いる場合に比べ定量精度の点で有利となると考えられる。また、軽元素等の物質では共鳴吸収ピークが高エネルギーに現れるため、共鳴吸収法による密度定量分析は難しいが、PS 領域を利用する本手法は、軽元素の密度定量も行えるという利点がある。本研究では、まず鉄及び炭素のみの透過率に対し、フィッティング範囲を熱中性子領域、ポテンシャル散乱領域と変えて面密度（密度×厚さ）の評価を行い、それぞれの領域における解析の精度を比較した。次に鉄・炭素の積層試料を透過した中性子透過率からそれぞれの元素の面密度を定量評価可能であるかを調べた。

2. 密度定量実験とその結果

密度定量実験を北海道大学電子線形加速器施設[3]にある熱中性子源にて行った。測定試料には、回折の影響を確認するため鉄を、また軽元素試料として炭素を選定した。鉄・炭素の単体試料（試料サイズ：10×10×5^t cm^3）およびそれらの積層試料を用意し、中性子透過率スペクトルを測定した。測定されたスペクトルの熱中性子領域（0.01 ~ 0.05 eV）、PS 領域（0.3 ~ 20 eV）において、核データ（JENDL-4.0）から求めた透過率によるフィッティングを行い、面密度を推定した。その結果、試料の重量及び体積から求めた面密度（計算値）と比較し、鉄試料の推定面密度は PS 領域の解析結果において定量精度が高かった（表1）。炭素試料（計算値：4.51×10^{-2} atoms/barn）においても、PS 領域での解析結果は 4.49×10^{-2} atoms/barn となり、1%程度の精度で密度を推定できた。また、鉄・炭素の積層試料を PS 領域でフィッティング解析した結果、それぞれの面密度を約 7%の精度で決定できた。

表 1　鉄の解析結果と計算値の比較

エネルギー範囲	解析値 (atoms/barn)	計算値 (atoms/barn)	誤差 (%)
熱領域	3.79×10^{-2}	4.35×10^{-2}	-12.9
ポテンシャル散乱領域	4.29×10^{-2}	4.35×10^{-2}	-1.4

3. 結言

実測される中性子透過率スペクトルを核データから計算される透過率データによってフィッティングする本手法では、使用する中性子エネルギー領域として PS 領域を選択すれば、鉄・炭素の単体試料に対し、高い定量精度で面密度を取得可能であることがわかった。また、ラジオグラフィと異なり、鉄・炭素の二種類の物質を透過した中性子透過率からでも、各物質の面密度がそれぞれ定量評価可能であることがわかった。

参考文献

[1] M. Kanematsu et al., J. Struct. Constr. Eng., 79, pp. 201-208 (2014)
[2] H. Kobayashi, J. Nucl. Sci. Tech., 29, pp. 1045-1053 (1992)
[3] M. Furusaka et al., Physics Procedia, 60, pp. 167-174 (2014)

*Hirotaku Ishikawa[1], Hirotaka Sato[1,2], Takashi Kamiyama[1,2] and Masato Ohnuma[1,2]
[1] Graduate School of Engineering, Hokkaido University, [2] Faculty of Engineering, Hokkaido University