

機関番号：82110

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760712

研究課題名 (和文) パルス中性子による二次元共鳴吸収透過分析手法の確立

研究課題名 (英文) Establishment of two-dimensional analysis method with resonance-absorption transmission utilizing pulsed neutrons

研究代表者

原田 正英 (HARADA MASAHIDE)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究副主幹

研究者番号：50354733

研究成果の概要 (和文)：

本研究の目的は、パルス中性子の特性を生かし、共鳴吸収に着目して、二次元的に材料分析を行う共鳴吸収透過分析法の確立であった。

研究初期に始めた検出器システムの整備として、京都大学で開発している μ PIC (Micro Projection Ion Chamber) 検出器システムの導入した。中性子を使ったテスト実験の結果、この検出器は、時間分解能 ($\sim 1 \mu s$)、空間分解能 ($\sim 0.5 mm$)、中性子/ γ 線感度 ($< 10^{-6}$) の点から、本研究に最適な二次元検出器であることがわかった。

この検出器を用いて、J-PARC センターの NOBORU ビームラインにて行ったパルス中性子により、共鳴吸収透過実験を行った。試料としては、Co、Ta、Mo など、共鳴吸収ピークをもつ単体材料を利用し、厚さを変えながら、定量性を確認した。その結果、補正なしに、核データをベースに得られる情報から導出される物質の厚さは、実際の厚さと比較して、約 7% の差があることがわかった。

一方、バックグランド成分が定量化の精度に影響をあたえることも確認し、この成分は、シミュレーションや実験から、バックグランドは、実験室中の散乱成分であることを確認した。

材料解析のための基本的なアルゴリズムは確立でき、二次元的に共鳴吸収透過分析が可能であることを示した。しかし、より精度の高い定量測定には、まだ、検出器システムの改良や測定方法の改良が必要であることがわかった。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this study was the establishment of two-dimensional analysis method utilizing the characteristics of the pulsed neutron, focusing on the resonance absorption.

Firstly, as the preparation of the proper detector system, the μ PIC (Micro Projection Ion Chamber) detector developed in Kyoto University has been introduced. As the result of test experiments, it was found that μ PIC was suitable for this study in viewpoint of time and spatial resolutions ($\sim 1 \mu s$, $\sim 0.5 mm$), and neutron and gamma-ray separation ($< 10^{-6}$).

With this detector system, the resonance absorption experiments using pulsed neutrons were performed at beam line of the J-PARC Center NOBORU. As a sample, single materials of Co, Ta, Mo, and so on having the resonance absorption peak was used in changing of the thickness due to the confirmation of the quantitativity. As a result, the measured thickness derived with the nuclear data and no correction, it was found to be about 7% compared with the real thickness.

On the other hand, it was also found that the background component affects the accuracy of quantification. As the results of the simulation and the experiment, the background is originated from the scattering neutron in the experimental room. The basic algorithm for the analysis could be established for two-dimensional resonance absorption analysis method. However, for the more precise analysis, the improvement of the detector system and the measurement method is necessary.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
平成 22 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：J-PARC、 μ PIC、イメージング、共鳴吸収

1. 研究開始当初の背景

共鳴吸収透過分析法は、中性子イメージング手法の一つであった。共鳴吸収透過分析法に類似する研究としては、北海道大学グループが共鳴吸収によるピークを材料温度の測定手法とする研究を進めていた。その研究の中で二次元の共鳴吸収透過分析法の可能性、有用性を示唆していた。微量分析としては、原子力機構などで、透過ではなく即発 γ 線を利用しての分析研究が進められていた。JRR-3 など原子炉中性子源を用いたエネルギーを選別しないラジオグラフィとしてのイメージング研究は、原子力機構を始め、北海道大学、武蔵工業大学、ミュンヘン工科大学などで、鋭意進められていた。しかし、J-PARC のような大強度パルス中性子源を用いて、共鳴吸収透過分析法に特化した研究は、表立って行われていないのが現状であった。

研究代表者は、JSNS/J-PARC で銀-インジウム-カドミウム合金とアルミニウム合金の接合に関する研究に携わったことがある。このとき、完成品の接合検査手法に、有効な測定手法が無く、困ったこと経験がある。最終的にはX線を用いたが、原子番号が並んでいる銀-インジウム-カドミウムの分離識別は不可能であった。もちろん、熱中性子ラジオグラフィは、熱中性子吸収材であるカドミウムがあるため、不可能であった。この検査に共鳴吸収透過分析法を用いることができたなら、有効な検査ができたこと確信していた。このような経験が、本研究を行う動機にもなっていた。

2. 研究の目的

本研究は、透過性が高くエネルギー弁別が可能なパルス中性子の特性を生かし、断面積が極度に大きな共鳴吸収に着目して、二次元的に材料分析を行うパルス中性子による二次元の共鳴吸収透過分析法の確立を目的とする。

本研究の目的を達するためには、まず、時

間・空間分解能に優れた検出器および測定システムを整備し、確認することである。

次に、この選定された測定システムを用いて、パルス中性子源により、共鳴吸収断面積をもつ様々な種類、厚さの試料を用いて、透過スペクトルを測定し、その定量性を確認することである。

そこから、定量化するためのアルゴリズムを構築し、元素の定量的な分析を行う手法を確立する。

3. 研究の方法

共鳴吸収透過分析法は、検出器の前に試料を置き、パルス中性子を照射し、飛行時間情報からエネルギー弁別して、透過スペクトルを得るものである。実験には、中性子の空間分布の補正や検出効率の補正を簡便にするため、試料なしの透過スペクトルを測定して、試料有りの透過スペクトルを割り算する。

パルス中性子を用いた共鳴透過実験は、図1に示すように、J-PARC の NOBORU ビームラインの実験室に μ PIC 検出器を設置し、図2に示すように、試料を検出器に貼り付けるか、さらに上流側に設置して、透過スペクトルを取得する。

得られた透過スペクトルは、評価済み核データ断面積を用いて、最終的に、物質の厚さ(含有量)を導出する。特に、共鳴吸収の中心エネルギーは、元素(同位体)で固有であり、断面積が特に高いため、共鳴吸収付近の中性子の透過スペクトルを用いることで、粗元素の厚さを導出しやすい。



図 1、装置写真

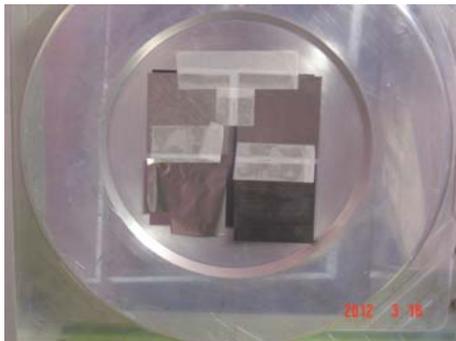


図 2、試料設置写真

4. 研究成果

図 3 は、Co 試料を設置し、Co の共鳴吸収中心のエネルギーである 139eV 付近の中性子の二次元透過画像を測定したものである。設置した Co の厚さは、右上が 500 μm 、左上が 250 μm 、右下が 5 μm 、左下が 100 μm である。図 2 がその試料の設置写真でもある。明るいほど、中性子が透過していることを意味する。それぞれの試料の透過率の実測値を厚さに変換したのが、図 4 である。5 μm の試料については、共鳴吸収の強い部分 (139eV) から、5 μm に相当する透過率が得られた。一方、これより厚い試料では、139eV の透過データからは、定量性が十分でないが、共鳴吸収の端部 (109eV) の透過率から、100、250、500 μm の厚さの試料の実際の厚さと比較しても、その差は、最大でも 7% であった。

図 5 は、Ta 試料を用いた場合の試料の厚さの実測値を示したものである。共鳴吸収の中心エネルギーである 4.31eV では、定量性が見込めないが、やや外れたエネルギー (4.45eV) では、最大でも 15% の差であった。

このようなことから、共鳴吸収のへこみから定量性を出すには、厚さが薄いときには、共鳴吸収の中心エネルギーで、厚さが厚いときには、共鳴吸収の近傍エネルギーで、それぞれ透過率を導出することが良いことがわ

かった。

共鳴吸収の中心エネルギーでは、断面積が大きすぎるためである。ある程度の厚さになると、全吸収状態になり、ほとんど中性子が透過しなくなってしまう。定量性が出ない原因を探るために、中性子輸送シミュレーションを行い、その原因を調べた。シミュレーションの結果を図 6 に示す。この結果から、試料や検出器で散乱した成分が、実験室の壁で反射して検出器に飛び込むことがわかった。また、検出器をボロンゴムで覆い測定すると、相対的にバックグラウンド成分が低減することがわかった。このようなことから、共鳴吸収の中心エネルギーで、厚さが厚い試料で定量性が出ないのは、散乱中性子によるバックグラウンド成分が原因であると推測できた。

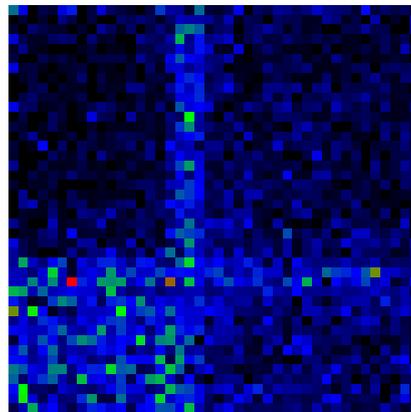


図 3、Co 試料の 2 次元分布図

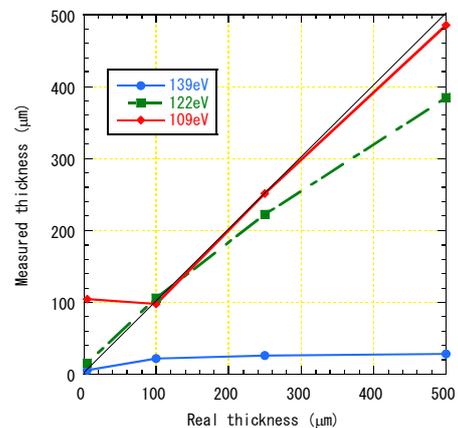


図 4、測定値からの導出された Co 試料の厚さ

本研究の知見から、共鳴吸収の付近の中性子の透過スペクトルから、使用するエネルギーを適切に選ぶことで、核データから元素の厚さ (含有量) を導出することができることがわかった。しかし、より精度の高い定量測定には、バックグラウンド成分の定量的な評価、測定、除去が必要であるなど、測定方法の改

良が必要である。また、検出器システムの高速化など、システムの改良をする余地がある。

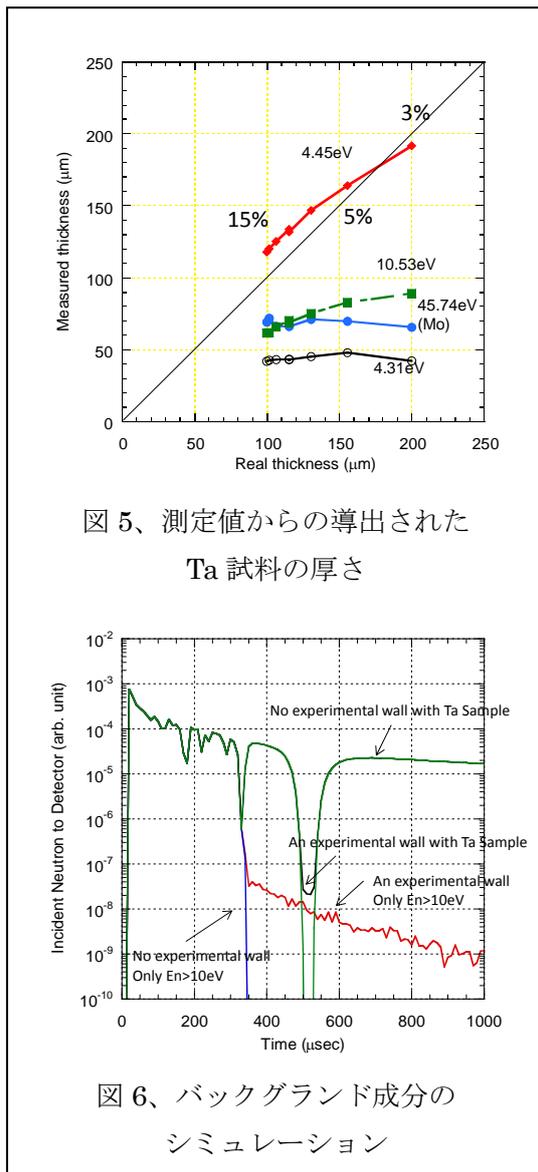


図 5、測定値からの導出された Ta 試料の厚さ

図 6、バックグラウンド成分のシミュレーション

6. 研究組織 (1) 研究代表者

原田 正英 (HARADA MASAHIDE)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
J-PARC センター・研究副主幹
研究者番号：50354733

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)

[学会発表] (計 3 件)

1、M. Harada et al., “Imaging experiments on NOBORU at MLF”, ICANS-XIX, May, 2010, Grindelwald, Switzerland (2010)

2、原田ら, 「中性子透過共鳴吸収法による材料の二次元分布測定」、原子力学会 2011 年春の年会、2011 年 3 月、福井市 (2011) (※震災のため開催中止、要旨集は作成配布済み)

3、原田ら, 「透過中性子共鳴吸収法による材料分布定量測定」、原子力学会 2011 年秋の大会、2011 年 9 月、北九州市 (2011)