

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13729

研究課題名(和文)大視野・高空間分解能を実現する中性子イメージング新技術の開発

研究課題名(英文)Development of new technology for neutron imaging using multi pinhole collimator

研究代表者

大澤 崇人(Osawa, Takahito)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 物質科学研究センター・研究主幹

研究者番号：70414589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：放電細穴加工によってガドリウム金属板に等間隔で穴を開ける技術を開発した。次にガドリウム板を2枚重ねて固定し、開発した技術を用いて62個の穴を開けることに成功した。次にこの2枚のガドリウム板を完璧に並行に設置するための架台を金型製作技術を用いて製作した。これにより全く光学調整なしにコリメータを使用できる。製作したコリメータに対しては精密な測定を行い、ミクロン単位で歪みがないことを確認した。次にこのコリメータに光を通した実験を行い、光が通っていることを確認した。現在中性子を用いた実験を準備している。

研究成果の概要(英文)：I have developed a technique to make holes on a gadolinium metal plate by discharge fine hole processing. Two gadolinium plates were stacked and fixed, and 62 holes were made on it using the developed technology. A base for installing these two gadolinium plates in the perfect position was fabricated. The collimator can be used without any optical adjustment at all. Precise measurement was carried out for the manufactured collimator, and it was confirmed that there was distortion smaller than a few microns. I have conducted experiments with light passing through this collimator, and confirmed that light passed through the pin holes. Now we are preparing experiments using neutron beam.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：中性子イメージング コリメータ 放電加工

1. 研究開始当初の背景

中性子イメージングは物質内部を非破壊で観察できる優れた技術である。中性子は水(水素)の構造を可視化できる有益なツールであり、燃料電池内部の水分布の可視化などにも応用されている。

一方、申請者らは小惑星探査機はやぶさ2が回収予定の小惑星試料を分析する手法を多角的に検討している。はやぶさ2は水に富む小惑星を目指すため、水の分布を非破壊で可視化する手法として中性子イメージングが検討されたが、現状の中性子イメージングでは空間分解能が低く、応用できないとの結論に至った。そこで申請者は、既存の中性子イメージングを圧倒する空間分解能を有する新技術の開発を目指し、様々なアイデアを提案し、それらが現在の工業技術で製作可能か、現実的な予算で実現可能かを多面的に検討した。その結果、本研究で提案する方法によって、大視野と高空間分解能を両立させることが可能との結論に至った。

2. 研究の目的

本研究では大きな視野を観測でき、かつミクロンレベルの空間分解能が得られる、革新的な中性子イメージング分析技術の開発を目指す。当初の目的では、ワイヤー放電加工で100 mm×100 mm 2 mm厚のガドリニウム板に幅250 μmのスリットを500 μmピッチで100本切り、加工した2枚のガドリニウム板を垂直にずらして重ねることで250 μm×250 μmのピンホールを10000個有するコリメータとし、このコリメータをもう一組作り、これらをずらして重ねることで分解能可変マルチアレイコリメータとすることを目指した。さらにこれを3組用意し、それぞれの間隔を20 cmと40 cmに設定することで装置を構成し、これを試料下流に設置して散乱成分を除去する。試料をスキャン撮影し、画像処理によって1枚の画像に合成する。本研究期間では装置開発と性能評価を行ない、本手法の有効性を実証する。

研究成果にて詳細を記述するが、研究を進める過程でガドリニウム板の加工に関して重大な問題が発生したため、当初の目的を大幅に変更し、細穴放電加工で製作したガドリニウム板2枚を組み合わせることで、中性子コリメータを構成した。また視野角もかなり小さくなってしまったが、本研究ではガドリニウムの加工方法と中性子コリメータ製作の方法論を確立させることへ研究目的をシフトさせた。

3. 研究の方法

研究期間は2年間とする。当初の予定では、ガドリニウム板に線幅250 μmのスリットを正確に切る加工方法を確立し、確立した技術によって10枚のスリット入りガドリニウム板を組み合わせ、マルチアレイコリメータを構成する。またこれらガドリニウム板を固定

し、チェンバーを作製する予定であった。しかし後述するように計画は大きく変更された。実際には、ガドリニウム板に細穴放電加工で可能な限り細い穴を開ける技術開発を行った。まずは1枚の板に穴を開けられる条件を探し出し、その上で2枚のガドリニウム板を重ねた状態で穴を貫通させることに挑み、等間隔で多数の穴を加工する。加工したガドリニウム板を高い工作精度で製作されたコの字型の治具に固定した中性子コリメータを製作する。完成させた中性子コリメータの工作精度を確認するため三次元測定機で測定してミクロン以下の精度が出ていることを確認した後、光を用いた透過実験を行う。最後に研究炉を用いて実際の中性子イメージング像を撮像して性能評価を行う。

4. 研究成果

初年度は当初の予定どおり、ワイヤー放電加工でのガドリニウム板の加工方法の検討を行った。加工試験実験では、ガドリニウム板表面が酸化して黒くなってしまふことは避けられなかったが、200 μm未満の幅でワイヤー加工できる条件を割り出し、ガドリニウム板を問題なく加工できることがわかったが、実際にコリメータを製作する上で重大な問題が発生した。通常のSUS加工と違い、ガドリニウム板を切るのはとても難しいため、最適な加工条件で1枚のガドリニウム板に対して100本ずつの線を切った場合、加工時間が極めて長くなってしまい、それ故に加工賃が配布された研究予算の数倍にも膨れ上がってしまうのである。またそれ以上に、ワイヤ放電加工機を週単位で専有できる工場がなかった。一度加工を開始した場合は位置決め精度の問題から板を取り外して再度加工することができないため、ワイヤ放電加工機の専有は必須である。しかしワイヤ放電加工機の稼働率が高すぎるためにこの加工方法を諦め、別の手法を探すこととした。

そこで細穴放電加工(Small Hole Electrical Discharge Machining)を使用することとした。細穴放電加工は極めて細い棒電極を用いることで、切削加工では不可能な細い穴を開けることができ、本研究開発では理想的加工法であると考えられた。細穴放電加工はワイヤ放電加工と類似した加工方法であるが、線ではなく点で加工できるために加工時間を短くでき、加工賃も比較すれば現実的な価格となると見られた。そこで細穴放電加工を使用した試作実験を行った。その結果、ステンレス鋼と同じ加工条件では穴が開かないことが判明したため、極間コンデンサを用いたところガドリニウム板に穴を開けることに成功した。しかしながら穴にテーパがついてしまうことと、電極が折れてしまう問題が発生した。この問題をできるかぎり解決すべく試作実験を再度行ったが、残念ながら完全な解決にはいたらなかった。そのため現状ではガドリニウム板の完全な自動加工を実現する

ことができなかつたのだが、ある程度の数の穴を開けることに成功したため、2枚重ね板の加工を試みた。本来の研究計画では3枚のコリメータを重ねる予定であったが、3枚を重ねて穴を貫通させることが困難であったため、2枚に計画を変更した。

ガドリニウム板2枚を重ねて完全に固定した状態にし、2枚の板を貫通させる形で細穴加工を試みた。ガドリニウム板1枚だけの加工と比較して難易度が上がっているため、加工に失敗する確率は低くなかつたが、その確率が5%を切っていると思われたため、実際の穴加工を行った。2.5 mm×2.5 mmの領域に $8 \times 8 = 64$ 個の穴の加工を試み、62個の穴の貫通に成功した。穴はテーパーがついているが、穴径は100ミクロン強ほどである。

次に加工したガドリニウム板2枚を完全に平行に、穴の位置を合わせた形で固定する方法を考案した。XYステージなどを使用して穴の位置をミクロン単位で合わせる光学系を中性子の実験スペースで実現することはほとんど不可能であり、予め完璧に光学系を調整されたコリメータを用意する必要である。そこで、まず2枚のガドリニウム板を重ねて固定された状態のうちに、板の四隅に直径8 mmの穴を開けた。



図1 製作した中性子コリメータ。2枚のガドリニウム板が治具の前後に固定されている。

次に2枚の板を固定するコの字型の治具を、金型製作の技術を用いた最高の工作精度で製作した。この治具に対して、2枚の加工済みガドリニウム板をそれぞれ4本のピンで治具の両端に固定した。ガドリニウム板の面間距離は220 mmである。治具の両側面の平行

度を含む、製作した本コリメータの工作精度は接触式の三次元測定機によって確認され、ミクロン以下の工作精度が実現されていることを確認した。図1に製作した中性子コリメータの写真を示す。次に、製作した中性子コリメータの精度を確認するために、光を使った透過実験を行ってみた。光源としてはグリーンレーザーと、LEDファイバー光源を用いた。中性子コリメータの片側から光を板に対して垂直に当て、反対側のガドリニウム板から出てくる光をCMOSカメラで撮影した。グリーンレーザーの実験では問題なくレーザー光が2枚のガドリニウム板に開けられた62個の穴を通過していくことが確認された。次にLEDファイバー光源の実験を行った。これは比較的平行度の低い、原子炉設置の中性子光源に相当する実験である。図2にこの実験で撮影したCMOS像を示す。本コリメータは約1800のL/D値を実現しており、光と同じように中性子も通過させることができれば、高い空間分解能を実現させることが可能である。

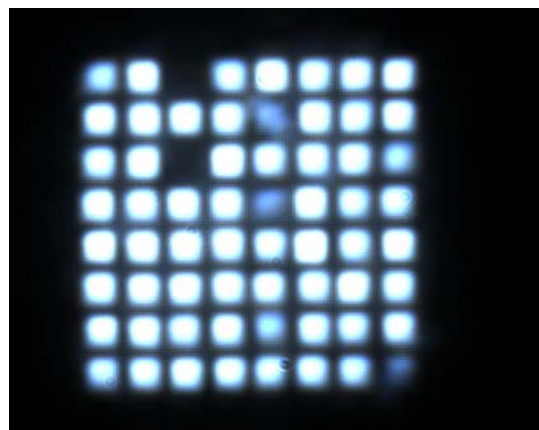


図2 中性子コリメータを通過したLEDファイバー光源からの透過光。62個の穴において光が通過している状況を確認できる。

本研究はガドリニウム金属の加工が予想以上に難しかつたことから、当初の開発計画から大きく軌道修正を迫られることとなり、ガドリニウム板の加工方法の開発に多大な時間を費やすことになった。さらに、極めて残念ながら研究期間内にJRR-3が再稼働しなかつたため、中性子を用いた実際の撮像実験をするには至らなかつた。しかし今後の研究において、本研究で開発した中性子コリメータを用いた実験を行い、さらなる技術開発を進める予定である。

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 0 件）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大澤崇人 (OSAWA Takahito)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 物質科学研究センター・研究主幹

研究者番号：70414589

(2) 研究分担者

松林政仁 (MATSUBAYASHI Masahito)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 物質科学研究センター・室長

研究者番号：50354767

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()