

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340068

研究課題名(和文) 中性子画像検出器の開発

研究課題名(英文) Development of a new neutron imaging detector

研究代表者

宇野 彰二 (UNO SHOJI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：70183019

研究成果の概要(和文)：新しい放射線検出器であるガス電子増幅器(GEM)を用いて、高計数率に耐えられ、しかも、高位置分解能で高時間分解能な中性子画像検出器を開発した。開発した検出器で実際のパルス中性子源からの中性子を利用した中性子波長別ラジオグラフィへの応用試験を行って、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：A new neutron imaging detector with a new radiation detector (GEM) was developed. A test chamber was constructed and it showed good capability for high counting rate, high position resolution, and high timing resolution. Also, good performance was obtained for the energy-selective neutron imaging in pulse neutron sources.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2009年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 素粒子原子核分野で、近年の微細加工技術の向上を利用して高計数率に耐えられるガス放射線検出器(GEM)の開発が行われてきていた。

(2) 高強度のパルス中性子源施設(J-PARCのMLF)がまさに稼働しようとしていて、

高計数率に耐えられる高性能な中性子検出器が希求されていた。

## 2. 研究の目的

(1) 中性子検出器として、これまで使われてきたヘリウム3を充填したガスカウンターと比較して、高計数に耐えられる検出器を開発する。

(2) GEM を利用することによって、中性子の精密な2次元入射位置と同時に精密な入射時間を計測できる検出器を実現する。

### 3. 研究の方法

(1) 中性子を捕えるために、ボロンと反応してアルファ線がでる過程を利用する。GEM 表面にボロンを蒸着して、それを積層した検出器を製作する。アルファ線がガス中を通過する際に発生する電子を GEM でガス増幅することによって、電気信号として入射中性子を1個1個数えられるようにする。

(2) GEM によって増幅された電子群が作るパルス信号を精密に測定するために細分化されたストリップを配置する。その際、2次元位置を計測して画像データを得るために、X位置とY位置を独立に測定可能な読み出しパターンを用意する。

(3) 全体として可搬型のコンパクトなシステムするために、ストリップからの信号を処理する電子回路を新たに構築して、デジタル信号をコンピューターに直接、転送できる構造にする。これによって、様々な場所の中性子発生源を利用して、開発して検出器の性能試験を行う。

### 4. 研究成果

(1) 1.2 ミクロン厚のボロンを両面に付加した有感領域が10cm×10cm のGEMを4枚積層することによって、熱中性子に対して、30%の検出器効率を達成した。

(2) 0.8mm ピッチの2次元 X-Y ストリップを製作して、図1に示すように、位置分解能として1mm(半値全幅)を達成し、その性能には、GEM 間のギャップが大きく影響していることを確認した。

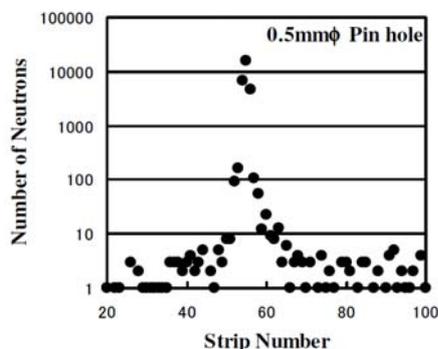


図1 中性子の入射位置分布

(3) 新たに特殊用途集積回路(ASIC)とプログラム可能であるがハード的に動く高速な集積回路(FPGA)を搭載した読み出し電子回路を製作して図2に示すような全体としてコンパクトなシステムを構築した。また、X線照射試験を通して、1MHzの頻度でデータ収集可能であることを確かめた。

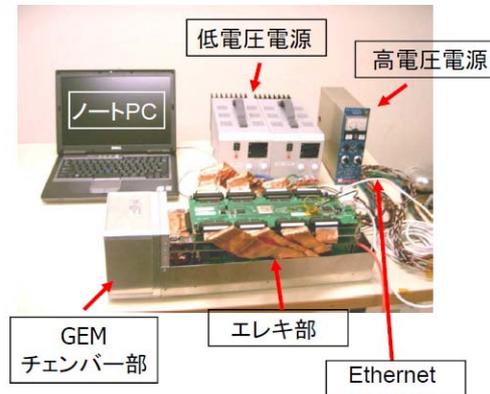


図2 開発した検出器システム全体写真

(4) 日本原子力開発機構にある研究原子炉JRR3から発生する冷中性子(波長8Å)を利用した小角散乱実験で、単分散シリカ粒子サンプルのきれいな散乱パターン(図3)を測定することができた。これにより、高位置分解能が実際の散乱実験でも得ることができることを示した。

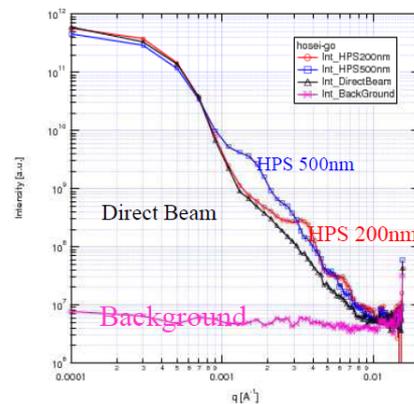


図3 小角散乱実験によって得られた単分散シリカ粒子サンプルによる散乱パターン

(5) 稼働を開始したJ-PARCの大強度パルス中性子源のビームラインに開発した検出器を設置して、ビームテストを行った。その結果、高頻度環境化で、2次元位置情報(図4)と飛行時間(図5)が同時に精度よく測定できることを示した。

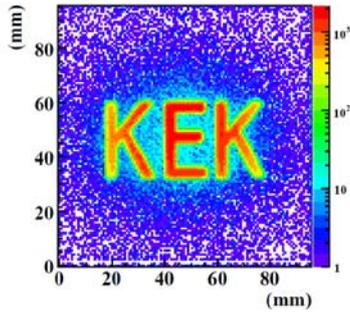


図4 2次元画像

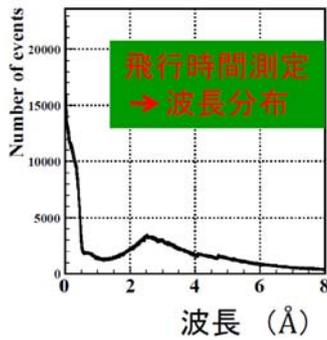


図5 飛行時間から計算された中性子の波長分布

図4の画像は、文字スリットのあるカドミウム板を検出器の前面に設置して得られた画像である。この際、カドミウムは、 $0.5\text{\AA}$ 程度以下の波長の中性子に対しては吸収能力がないので、図5の分布の中から長波長の中性子だけを選択しなければ、図4のようなきれいな文字が浮き上がってこない。このことがまさに、開発した検出器が2次元位置と飛行時間を同時に測定できることを示している。

(6) J-PARCの別のビームラインで、中性子波長別ラジオグラフィーとして有効な検出器であることを示すデータを得ることができた。図6の左上図は、ビームライン上に置かれたコインと小判のサンプル写真である。右図は、コインなどのサンプルがある時とない時で、中性子の飛行時間毎にどれくらい吸収されるかを示している。左下図は、右図中に示す金に特徴的である飛行時間（つまり波長）の中性子だけを抜き出して画像にしたものである。こうすると、金がある部分だけで吸収が起こり（図中の緑色）、この小判には確かに金が一様に含有していることがわかると同時にコインには金が含まれていないことを示している。

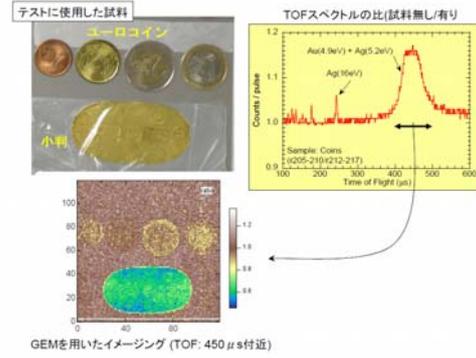


図6 金属により吸収断面積が波長別に異なることを利用したラジオグラフィーの例

(7) 北海道大学工学部のパルス中性子源において、屈曲鉄をサンプルとして中性子波長別イメージングテストを行った。この場合は、吸収断面積が大きく変化するブラッグエッジ付近の波長別断面積の変化の仕方の違いから屈曲鉄内での結晶子サイズを計算して、それを2次元画像することに成功した。

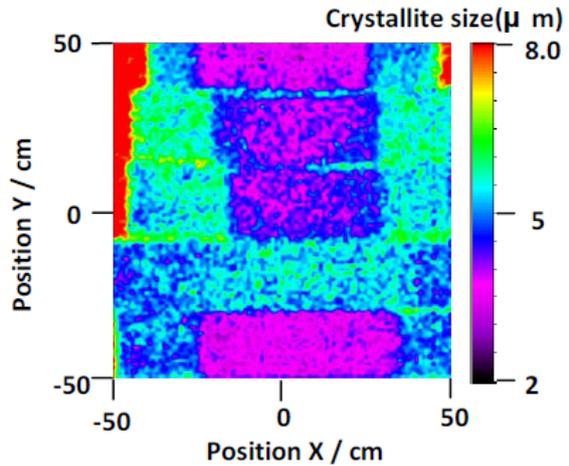


図7 上図：屈曲鉄のサンプル写真。下図：中性子でみた結晶子サイズの2次元画像化したもの。曲げられた部分のみで結晶子サイズの変化が見られる。

(8) これらの一連の試験を通して、開発した中性子画像検出器が中性子を利用した実

験に有効であることがわかり、特に、中性子波長別ラジオグラフィの分野において新しい展開が開ける検出器となりえるものであることを示した。

#### 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 5 件)

- ① H.Ohshita, S.Uno, T.Ohtomo, T.Koike, T.Murakami, S.Satoh, M.Sekimoto, T.Uchida, Development of a neutron detector with GEM, will be published in Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, 査読有
- ② 大下英敏、宇野彰二、GEM を用いた二次元中性子検出器の開発、日本中性子科学会誌「波紋」、査読有、Vol.19、No.3、2009、pp.150-154
- ③ T.Uchida, Y.Fujita, M.Tanaka, S.Uno, Prototype of a Compact Imaging System for GEM Detectors, IEEE Transaction on Nuclear Science, 査読有、Vol.55、2008、2698-2703
- ④ 宇野彰二、高い位置分解能をもった二次元中性子検出器の開発、日本物理学会誌、査読有、Vol.63、2008、pp.687-693
- ⑤ S.Uno, M.Sekimoto, T.Murakami, N.Ujiie, T.Uchida, H.Kadomatsu, A.Sugiyama, S.Nakagawa, E.Nakano, Performance study of new thicker GEM, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A, 査読有、Vol.581、2007、271-273

[学会発表] (計 5 件)

- ① 庄司正剛、星善元、宇野彰二、内田智久、関本美知子、村上武、小池貴久、中野英一、黒石将弘、宮間恒一、J-PARC における GEM 型中性子検出器の性能評価、日本物理学会第 65 回年次大会 岡山大学 2010 年 3 月 21 日
- ② 森田圭吾、佐藤博隆、加美山隆、鬼柳善明、宇野彰二、GEM 検出器の特性測定およびパルス中性子イメージングへの応用、原子力学会、2009 年
- ③ H. Ohshita, S.Uno, T. Otomo, T. Koike, T. Murakami, S. Satoh, M. Sekimoto, T. Uchida, Development of a neutron detector with a GEM, TIPPO9, 2009 年 3 月 14 日
- ④ 大下英敏、氏家宣彦、宇野彰二、大友季哉、関本美知子、田中秀治、田中真伸、仲吉一男、村上武、長屋慶、小池貴久、内田智久、中野英一、杉山晃、GEM を用い

た中性子検出器の開発、日本物理学会秋季大会 岩手大学 2008 年

- ⑤ Shoji Uno, Development of Neutron Gaseous Detector with GEM, IEEE NSS 2007 年 10 月 28 日

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

宇野 彰二 (UNO SHOJI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授  
研究者番号：70183019

##### (2) 研究分担者

田中 真伸 (TANAKA MANOBU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授  
研究者番号：00222117

(H21：連携研究者)