

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24340061

研究課題名(和文)次世代高性能中性子検出器の開発

研究課題名(英文)Development of next generation neutron 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・教授

研究者番号：70183019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

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。この開発において、(1)多数の孔のあいた金属箔板にボロンを付加した新しい中性子コンバーター、(2)高抵抗素材を利用して単純な両面基板の表裏にX-Yストリップを配置する方式、(3)特殊用途集積回路(ASIC)、デジタル処理を行う集積回路(FPGA)、データを1次的に格納するメモリー等を実装した読み出し基板を開発した。さらに、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. In this development process, three following items were developed, (1) new neutron converter using boron coated thin metal plates with many small holes, (2) new method for picking up signals using simple XY strip patterns on both surfaces of a flexible printed circuit board together with high resistive material, and (3) new readout board with application specified integrated circuit (ASIC), integrated circuit for digital process (FPGA), and a memory for temporary data storage. 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.

研究分野：数物系科学

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) が稼働して、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出る過程を利用する。多数の孔のあいた金属板の両面にボロンを添付して、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、単純な両面基板の両側にXストリップとYストリップを独立に配置したものを用いる。

(3) 全体として可搬型のコンパクトなシステムにするために、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、デジタル処理を行う集積回路や一時的なデータ蓄積を考慮したメモリーまでも1枚の基板上に搭載したものを開発する。

### 4. 研究成果

(1) 0.6 ミクロン厚のボロンを多数の孔のあいた金属板に付加し有感領域が 10cm×10cm の多孔コンバーターを2枚積層することによって、熱中性子に対して、GEM にボロンを付加した検出器と同程度の検出効率を達成した。これにより、今後、安価でしかも安定に動作する高感度の中性子検出器を製作できる道を開いた。

(2) 読み出しアノード電極を絶縁層の両面に配置した単純な2次元XYストリップと高抵抗素材を利用して、これまで使用してきた特殊なパターンを用いたものと同程度の位置分解能を得た。これによって、今後、複雑なパターンでも容易に作成できる道を開いた。

(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) 4MB のメモリーを搭載した読み出し電子回路基板を製作した。これにより GEM 検出器と一体化させた薄型の検出器となり、電気ノイズに強く、しかもコンパクトなシステムが完成した (図1)。このシステムを利用して最大 3.65MHz の計数率を達成した。

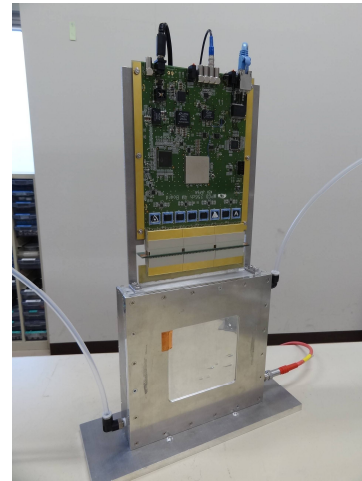


図1 開発した検出器システム全体写真

(4) 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、高時間分解能である特徴を生かして、共鳴吸収スペクトラムを正確に測定し、ビームラインの性能と合わせて物質の密度分布を得ることが可能であることを示した。また、図2に示すようにユーロコインに含まれる亜鉛の共鳴吸収のエネルギー (517eV) に相当する中性子だけを抜き出して、そのイメージを得ることに成功した。さらに高エネルギーの共鳴ピークを持つ鉄 (27.7keV) までも測定できることも示した。

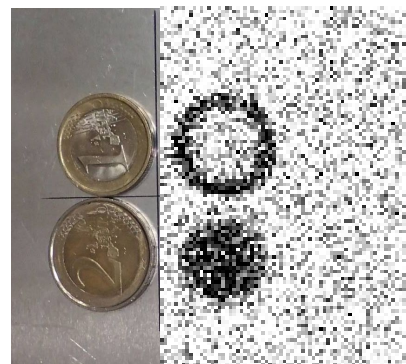


図2 ユーロコインの写真と亜鉛の共鳴吸収エネルギーの中性子だけを抜き出して得られた吸収画像。亜鉛の含有されている部分が1ユーロと2ユーロで異なるために、それが

明快にわかる画像が得られた。

(5) 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高時間分解能を持ち、2次元画像が得られることを示した、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。実際に、J-PARCのMLF棟、北海道大学工学部、イギリスのRAL研究所などで利用されるようになった。さらに、京都大学原子炉実験所、イタリア、台湾から高速中性子に応用できるのでないかと問い合わせが来ている。

#### 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6件)

Y. Kiyanagi, T. Kamiyama, K. Kino, H. Sato and S. Uno, **Pulsed neutron imaging using 2-dimensional position sensitive detectors**, 2014 JINST 9 C07012 査読有

K. Kino, N. Ayukawa, Y. Kiyanagi, T. Uchida, S. Uno, F. Grazzi, A. Scherillo, **Analysis of crystallographic structure of a Japanese sword by the pulsed neutron transmission method**, Physics Procedia 43(2013)360-364 査読有  
Tetsuya Kai, Fujio Maekawa, Hidetoshi Oshita, Hirotaka Sato, Takenao Shinohara, Motoki Ooi, Masahide Harada, Shoji Uno, Toshiya Otomo, Takashi Kamiyama, Yoshiaki Kiyanagi, **Visibility estimation for neutron resonance absorption radiography using a pulsed neutron source**, Physics Procedia 43(2013)111-120 査読有

H. Tomita, C. Shoda, J. Kawarabayashi, T. Matsumoto, J. Hori, S. Uno, M. Shoji, T. Uchida, N. Fukumoto and T. Iguchi, **Development of epithermal neutron camera based on resonance-energy-filtered imaging with GEM**, 2012 JINST 7 C05010  
S. Uno, T. Uchida, M. Sekimoto, T. Murakami, K. Miyama, M. Shoji, E. Nakano, T. Koike, **Development of two-dimensional gaseous detector for energy-selective neutron radiography**, Physics Procedia 37(2012)600-605 査読有

S. Uno, T. Uchida, M. Sekimoto, T. Murakami, K. Miyama, M. Shoji, E. Nakano, T. Koike, K. Morita, H. Satoh, T. Kamiyama, Y. Kiyanagi, **Two-dimensional Neutron Detector with GEM and its Application**, Physics

Procedia 26(2012)142-152、査読有

#### [学会発表](計5件)

池口直人、**メモリー付きボードを用いたGEM型中性子検出器の性能評価**、MPGD研究会 2014年12月19-20日 東北大学・宮城県・仙台市  
Shoji Uno, **A two-dimensional gaseous neutron detector with boron coated multi-grid converter**, Workshop on Position Sensitive Neutron Detectors 2014 (PSND2014), 2-4 June, 2014, Juelich, Germany  
S. Uno, **Status of MPGD Activities**, Asian Forum for Accelerator and detectors, 15-16 Jan, 2014, Melbourne, Australia

大橋賢太、**改良GEM型中性子検出器の性能試験**、日本物理学会 2013年秋季大会 2013年9月20-23日 高知大学・高知県・高知市  
星野彰、**GEM検出器における高抵抗素材を利用した読み出し基板の動作検証**、日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月11-14日 京都産業大学・京都府・京都市

#### [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：  
：  
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

宇野 彰二 (UNO SHOJI)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号：70183019

(2)研究分担者

内田 智久 (UCHIDA TOMOHISA)  
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：70381035

(3)連携研究者