

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 28 日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760717

研究課題名（和文）反跳粒子 3D 計測による高感度速中性子イメージング法の開発

研究課題名（英文）Development of a directional detection method for fast neutrons using 3D-measurement of recoil particles

研究代表者

土屋 兼一（KEN' ICHI TSUCHIYA）

警察庁科学警察研究所・研究員

研究者番号：90447920

研究成果の概要（和文）：

マイクロピクセルガスチェンバー（ $\mu$ -PIC）を用いた速中性子到来方向測定装置を開発した。 $\mu$ -PIC はプリント基板の微細加工技術を用いたマイクロパターンガス検出器である。この装置は、100mm 角  $\mu$ -PIC を用いたタイムプロジェクションチェンバーからなり、速中性子により反跳された陽子を 3 次元計測することで、雑音となるガンマ線を排除しながら中性子の入射方向を測定できる。我々は、Cf-252 中性子線源を用いた原理実証に成功した。我々の開発した手法は、ホームランドセキュリティにおける He-3 代替検出器として有効である。

研究成果の概要（英文）：

We have been developing a fast-neutron directional detector with the micro-pixel gas chamber ( $\mu$ -PIC). The  $\mu$ -PIC is a micro pattern gas detector fabricated by printed circuit board technology. The fast-neutron directional detector consists of a time projection chamber (TPC) with the 100mm x100mm  $\mu$ -PIC, a gas vessel with a 50mm drift cage. Our method uses elastic scattering of neutrons with atomic nuclei in an Ar/CH<sub>4</sub> gas mixture within the vessel. By measuring the 3D-track of recoil protons in the TPC, we can determine the direction of incident neutrons, and achieve good background gamma-ray rejection. Fast-neutron imaging tests have been carried out in which fast neutrons emitted by a Cf-252 source were detected by measuring recoil protons. We propose the fast-neutron imaging method with the  $\mu$ -PIC as an alternative to He-3 detectors for homeland security.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	0	2,400,000
2010 年度	500,000	0	500,000
2011 年度	700,000	0	700,000
年度			
年度			
総計	3,600,000		3,600,000

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：原子力計測・放射線物理、中性子、イメージング、放射線検出器、検出器開発

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

### 1. 研究開始当初の背景

最近、半導体微細加工技術を応用したマイクロパターンガス検出器（MPGD）の開発が、高エネルギー物理学実験、原子力、医療、宇宙観測分野で世界的に広がっている。MPGDは、近接した陽極と陰極のセンサを数  $10\mu\text{m}$  ～ 数  $100\mu\text{m}$  までピクセル化していることが特徴である。そのため、放射線の入射位置を細分化した信号検出部で検出することが可能で、優れた位置分解能を実現できる。さらに、近接した電極構造は、ガス増幅で生じる電子とイオンを速やかに掃引できるため、高い時間分解能と高計数率下での動作が期待できる。

一方、ホームランドセキュリティや地雷探査、医療分野においては、高計数率下における中性子ガンマ線混合場での中性子イメージング手法が求められているが、現在のところ有効な手段はない状況であった。

#### (1) ホームランドセキュリティでの応用

核物質探査のひとつの方法として、核物質（プルトニウム）から自発的に放出されるエネルギーの高い中性子線（速中性子）の入射方向をリアルタイムに捉えることが重要であるが、適切な位置敏感型検出器はこれまでに存在しない。

#### (2) 地雷探査への応用

速中性子照射による地雷の有無や種類の探査の際には、中性子捕獲ガンマ線と後方散乱中性子線を同時に測定することで地雷探査装置の小型化が見込まれる。

#### (3) 医療分野への応用

ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）において中性子照射中に患者周辺部の中性子・ガンマ線の2次元線量測定が可能となる。

### 2. 研究の目的

中性子の位置敏感型検出器には、ヘリウム-3ガスを充填した比例計数管やシンチレータを用いる方法が一般的である。しかし、高線量率下での安定性、大面積、ガンマ線/中性子線弁別能力、高検出効率、高位置分解能を全て満たすイメージング検出器は存在しない。そこで、本研究は、速中性子を有感体積中で直接捕獲し、反跳粒子を3次元計測することでガンマ線/中性子の高い弁別能力を生かした高感度速中性子イメージング法の開発を目的とする。高計数率下における中性子ガンマ線混合場での速中性子イメージング手法が確立し、検出効率向上が達成できれば、ホームランドセキュリティや地雷探査、医療分野において応用が期待できる。

### 3. 研究の方法

京都大学で開発されたマイクロピクセルガスチェンバー（ $\mu$ -PIC）は、ポリミド基板の両面に互いに垂直に  $400\mu\text{m}$  間隔で配置した陰極陽極ストリップからなるMPGDである（図1）。陰極ストリップには、 $400\mu\text{m}$  間隔で円形の穴があり、その中心に基板を貫いて  $50\mu\text{m}$  径の陽極ピクセルを形成している。京都大学谷森グループは、宇宙ガンマ線測定気球実験や医療分野でMeVガンマ線イメージングに $\mu$ -PICを応用している。さらに、宇宙暗黒物質探索用に改良された測定装置で $\mu$ -PICを用いた中性子測定の原理実証を報告している。研究代表者らは、京都大学において、放射光施設の大強度X線（ $10^8$ カウント/秒）に耐えうる $\mu$ -PICを用いた2次元時分割X線画像装置を完成させた。大強度放射光施設SPring-8や高エネルギー加速器研究機構放射光施設においてX線回折実験を行い、既存のCCD検出器に比べ広いダイナミックレンジ（ $10^7$ ）を達成し、標準試料の時分割（ミリ秒）X線回折像を得ることに成功している。これらの開発技術を応用し、 $\mu$ -PICを用いたTPC（Time Projection Chamber）を応用することで、リアルタイムに速中性子の到来方向を検出する手法を開発する。

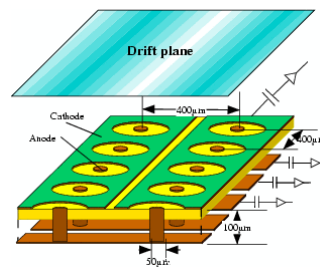


図1  $\mu$ -PICの模式図

### 4. 研究成果

科学警察研究所において速中性子イメージング装置のプロトタイプ機を製作した。

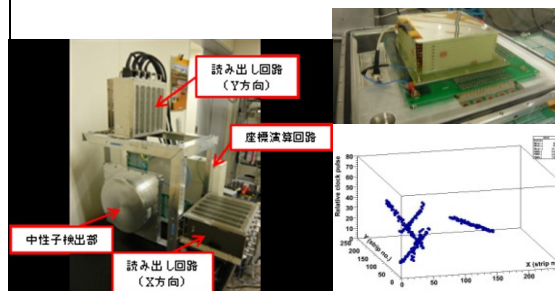


図2 速中性子到来方向測定装置（左）  
中性子検出部の形状（右上）  
3次元計測された反跳陽子（右下）

中性子検出部には1気圧のアルゴン-メタン混合ガスを充填させた。装置内に入射した速中性子は、ガス中の水素原子と弾性散乱を起こし、反跳陽子が生成される。その飛跡を位置分解能に優れた $\mu$ -PIC検出器で3次元計測し、速中性子の入射方向を捉える。我々は、中性子線源（カリフォルニウム252）を用いた原理実証を行ない、反跳陽子の飛跡を3次元でとらえることに成功した（図2）。また、飛跡の単位長さあたりのエネルギー損失分布（ブラッグ曲線）を各イベントごとに計測し、その曲線の傾きから中性子の入射方向を推定できることが実証された（図3）。これらの成果は、国際会議や国内学会で発表した。現在、中性子到来方向決定精度や検出効率等の性能評価を行なっている。今後は、装置に搭載する全方位可視光カメラ映像と中性子到来方向確率分布とを重ね合わせて表示することで、核物質探査を目的としたシステムの製作に取り組む。

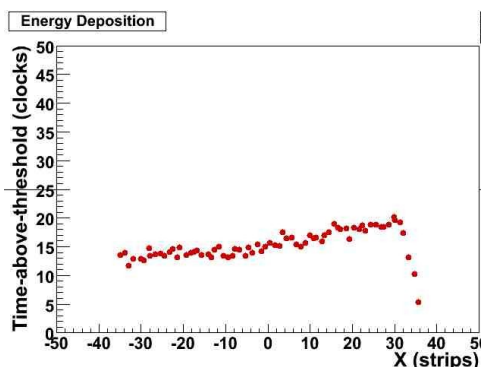


図3 反跳陽子の飛跡の単位長さあたりのエネルギー損失分布（ブラッグ曲線）

#### 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 1 件）

土屋兼一、黒木健郎、黒沢健至、五十嵐直明  
「RN テロ現場における放射線計測」  
電気学会研究会資料 原子力研究会 査読無、2011、NE-11-009

〔学会発表〕（計 5 件）

① 土屋兼一、黒木健郎、黒沢健至、五十嵐直明  
「RN テロ現場における放射線計測」  
平成 23 年度電気学会東京支部連合研究会原子力研究会「核セキュリティに資する先進放射線技術の動向」  
2011 年 9 月 6 日 早稲田大学（東京都）

② K.Tsuchiya, J.Parker, N.Igarashi, H.Kubo, K.Kuroki, K.Kurosawa, K.Miuchi,

T.Tanimori

”Development of fast neutron directional detector with a  $\mu$ -PIC for homeland security”

2<sup>nd</sup> International Conference on Micro Pattern Gas Detectors

2011年8月29日-9月1日

Maiko Villa Kobe(兵庫県)

③ 土屋兼一、黒沢健至、黒木健郎, Parker Joseph, 身内賢太郎, 窪秀利, 谷森達  
「マイクロパターンガス検出器を用いた速中性子イメージング装置の開発」  
第 48 回アイソトープ・放射線研究発表会  
2011 年 7 月 6 日 日本科学未来館（東京都）

④ 土屋兼一、黒沢健至、黒木健郎, Parker Joseph, 身内賢太郎, 窪秀利, 谷森達  
「放射線の可視化技術開発 2-速中性子イメージング装置」  
日本法科学技術学会第 16 回学術集会 2010 年 11 月 11 日 ホテルフラシオン青山(東京都)

⑤ 土屋兼一 「テロ対策における放射線計測」  
高エネルギー加速器研究機構測定器開発室セミナー  
2010 年 10 月 20 日 高エネルギー加速器研究機構（茨城県）

〔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

土屋 兼一 (Ken' ichi Tsuchiya)

警察庁科学警察研究所・研究員

研究者番号：90447920