

## 暗黒物質探索実験用放射能計測装置の開発

## The development of the radioactivity measurement device for dark matter search experiment.

○小川 洋<sup>1</sup>\*Hiroshi Ogawa<sup>1</sup>

Abstract: In order to improve the sensitivity of direct search experiments for dark matter, it is extremely important to accurately evaluate and reduce the radioactive impurities contained in the dark matter search detector. Typical targets in the search for dark matter include xenon, argon and fluorine-containing compound gas. Radioactive impurities in these gases provide the background for dark matter exploration experiments. In this research, the device for measuring radioactive impurities in gas is developed, using an electrostatic collection type radon detector and an extremely low radioactivity proportional counter. This device makes it possible to measure the radioactive impurities released from the material into the gas.

## 1. Introduction

暗黒物質は、宇宙に存在するといわれる未検出の素粒子の1つである。液化した希ガス（例：キセノン、アルゴンなど）を用いた検出器を地下実験施設に設置し、暗黒物質と希ガス原子核が相互作用することで発生するシンチレーション光や、電離を観測することで事象の観測を目指す。日本でも2019年まで、1トンの液体キセノンを用いた XMASS 実験[1]による暗黒物質探索が行われた。液体キセノンを用いた実験としては、40トンのスケールをもつ暗黒物質探索のプロジェクトである DARWIN 実験[2]が、2027年開始を目標に進行している。このようなガスを用いた暗黒物質探索検出器で重要となるのが、ガス自身の極低放射能化である。特に、検出器部材から湧き出す放射性ラドンガス(<sup>222</sup>Rn)は、DARWIN 実験では0.1  $\mu$ Bq/kg (キセノンガス重量) 以下が要求される。また、トリチウム(<sup>3</sup>T)の混入も重要なバックグラウンドになりうる。このレベルの放射能となると、これまでは、暗黒物質探索検出器自身のバックグラウンドから評価するしかなかった。その場合、暗黒物質からの信号と、放射能によるバックグラウンドを識別できない可能性があることから、暗黒物質探索検出器とは独立にガス中のバックグラウンドを見積もる必要がある。

本研究では、既存の技術である静電捕集型ラドン検出器に加え、新たに極低放射能比例計数管を独自に開発し、暗黒物質探索実験のターゲットとなるガス中および、部材からガスに放出される放射性不純物を測定する装置を開発することを目標とする。

## 2. 放射能計測装置

Figure 1 に、日本大学理工学部船橋キャンパスに設置されている放射能測定装置のセットアップを示す。装置は、静電捕集型ラドン検出器(PIN Photodiode radon detector) [3]と、比例計数管(proportional counter)より構成されている。これらはステンレスのガス管で接続され、内部は放射能を測定するターゲットとなるガスで充填されている。循環ポンプによってガスを循環し、ガス中の放射能をリアルタイムで測定することが可能となる。また、装置には、サンプル容器と、フィルターハウジングがついている。前者は、部材からの放射能（主にラドン）の湧き出しを測定するために部材を入れることができる。後者には、吸着剤を入れることができ、冷却が可能である。その上でガス中の放射能の吸着を測定することができる。

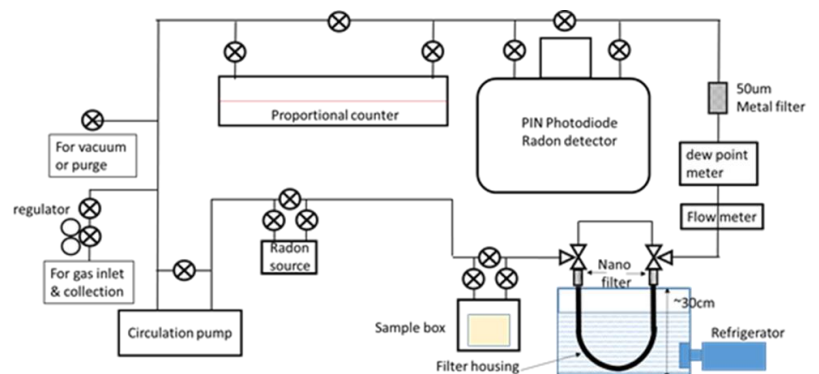


Figure 1. Setup for the radioactivity measurement device for dark matter search experiment

1 : 日大理工・教員・物理

静電捕集型ラドン検出器については、すでにスーパーカミオカンデ等で製作の実績があり、低バックグラウンド化がなされていることから、そのままの開発となる。一方、比例計数管の放射能に対する高感度化のために、検出器の低放射能化と、比例計数管の容量を大きくするといった対応をした。計数管の本体はSUS304とし、内面は電解複合研磨した。絶縁部についても高純度アルミナとすることで、極低放射能の部材での製作を徹底した。計数管の大きさはFigure 2にあるように、全長1メートル、直径10cm程度とし、通常の計数管よりも大きくすることで、測定される信号の統計を稼ぐこととした。

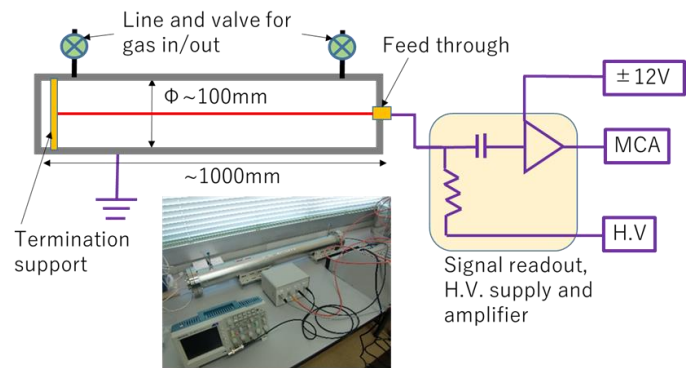


Figure 2. Setup for the proportional counter.

ガス中のラドンの検出について、ラドン検出器及び比例計数管ではラドンとその娘核の崩壊から生成するアルファ線を検出する。ラドン検出器はPIN photodiodeで検出された信号を増幅し、シェーピングアンプを通したあと、portable peak hold ADC (PHA)+RaspberryPiでデータ取得をする。比例計数管については、アルファ線からの信号を、Figure 2にある自作の信号読み出し、高電圧供給、信号増幅装置に通し、シェーピングアンプ内蔵のマルチチャンネルアナライザー(MCA)でデータ取得した。

### 3. 性能評価

製作した放射能計測装置について、ラドンからのアルファ線に対する信号を測定した。装置内には、アルゴンガスを満たす。市販のラジウムボールに、ポンプで1L/minで循環したアルゴンガスを通すことで、ラドンが多いアルゴンガスを作り、ラドンからのアルファ線をラドン検出器及び比例計数管で検出した。ラドン検出器については、期待通りラドンの娘核 $^{218}\text{Po}$ 及び $^{214}\text{Po}$ から崩壊で生成したアルファ線の信号が観測された。また、比例計数管での測定結果は、Figure 3となる。この測定における比例計数管の印加電圧は1000Vである。ラドン起源のアルファ線は、 $^{222}\text{Rn}$ (5.486MeV)、 $^{218}\text{Po}$ (5.998MeV)、 $^{214}\text{Po}$ (7.690MeV)のピークをはっきりと観測することができた。

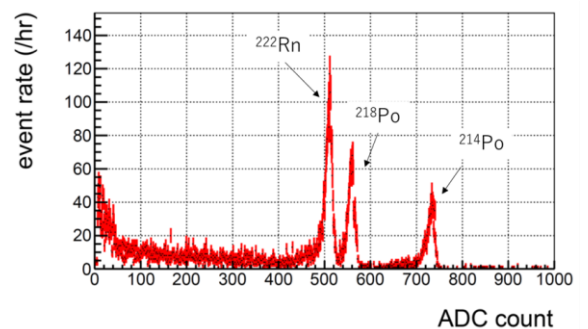


Figure 3. Energy distribution from radon signal for the proportional counter. ADC count is corresponding to the amount of energy.

### 4. 結論

暗黒物質探索実験のターゲットとなるガス中および、部材からガスに放出される放射性不純物を測定する装置を開発した。大型の比例計数管について独自に開発し、ラドンからの信号を観測することに成功した。今後は、検出効率の導出や、検出器の長期測定に対する安定性、低エネルギーのベータ線の検出によるラドン以外の放射性不純物の測定を目指し、暗黒物質探索実験に用いるガス及び部材からの放射線を高感度で測定することを目指す。

### 5. 謝辞

本研究は、公益財団法人精密測定振興財団研究助成(2019年度)及び日本大学理工学部研究助成(2020年度)の援助の受けたものである。

### 6. 参考文献

- [1] K.Abe et al. (XMASS collaboration), "XMASS detector", Nucl. Instr. and Meth. A716 (2013) 78-85
- [2] J. Aalbers et al. (DARWIN collaboration), "DARWIN: towards the ultimate dark matter detector", JCAP 11, 017 (2016)
- [3] K.Hosokawa et al., "Development of a high-sensitivity 80 L radon detector for purified gases", PTEP 033H01 (2015)