

宇宙線ミュオグラフィによる インフラ設備の劣化検査用検出器の開発

Development of Muography Detector to Investigate Degradation for Infrastructure Buildings

九州大学	永田 悠太	Yuta NAGATA
九州大学	金 政浩	Tadahiro KIN
九州大学	クラパ チャイウォ ンコット	Kullapha CHAIWONGHOT
九州大学	小森 智博	Tomohiro KOMORI
九州大学	寶来 悠	Yu HORAI
九州大学	渡辺 幸信	Yukinobu WATANABE

Abstract

Muography is an imaging technique using cosmic-ray muons. The principle of this technique is similar to that of X-ray radiography. However, the muography can be applied to much larger object, since the muon has high penetrating power. We have developed a portable prototype muography detector for investigation of infrastructure degradation. Through some feasibility measurements, it was found that long measurement time is required to investigate degradation. To shorten the measurement time, we have designed an upgraded muography detector with larger detection area. In the upgrade, some detector components were also renewed to improve the detection efficiency. It is expected that the upgrade muography detector is applicable to practical investigations with realistic measurement time.

Keywords: Cosmic-ray Muon, Muography, Muon Radiography, Infrastructure Building Survey, Radiation Detector

1. 序論

宇宙線ミュオンは、高エネルギーの一次宇宙線が地球大気中の酸素や窒素等と相互作用して生成される二次宇宙線のひとつである。高エネルギー領域のミュオンは、物質との相互作用が、ほぼ電磁相互作用のみに限られ、非常に透過力が高いという特徴がある。つまり、巨大な構造物も容易に透過することができるため、レントゲン写真と同様の原理で、内部を透視することが可能である。このようなミュオンを用いた透視技術は「ミュオグラフィ」と呼ばれている。この技術は、防災のための火山の透視^[1]や原子炉内部の探査^[2]に応用されている。

我々は、地中空洞や橋梁、ダム、焼却炉等のインフラ設備の維持管理に対し、ミュオグラフィの利用を検討している。日本はインフラ設備の老朽化が懸念されており、安心安全な社会の実現のためには適切な維持管理が課題となっている。

連絡先:永田悠太 〒816-8580
福岡県春日市春日公園 6-1 九州大学大学院
総合理工学府 先端エネルギー理工学専攻
渡辺・金研究室
E-mail:2es17205k@s.kyushu-u.ac.jp

現在までに、当研究室ではプロトタイプミュオグラフィ検出器の開発を行ってきた^[3]。これまでに、形状や内部構造が既知の構造物を対象にしたミュオグラフィ実験を行い、その性能を調査してきた。その結果、実用機として使用可能な計測時間でデータを取得するために必要な点が明らかとなった。本研究では実用化に向けて改良型ミュオグラフィ検出器を開発することを目的とした。

2. プロトタイプミュオグラフィ検出器

2.1 プロトタイプ検出器の構成

プロトタイプ検出器は、Fig.1 に示すようにミュオン位置検出器(mu-PSD)2 台で構成されている。この mu-PSD は、シンチレータとして機能する光ファイバー(PSF, Plastic Scintillating Fiber)によってミュオンを検出する。ミュオンとの相互作用で生じたシンチレーション光は Multi Pixel Photon Counter (MPPC) で検出している。各 MPPC には、反射材としてアルミ箔で覆われた 4 本の PSF が束ねられて接続されている。この束を 1 組とし、16 組敷き詰めたシートを直行するように重ねており、mu-PSD は 16×16 のピクセル状の検出器となっている。

そのため、ミュオンが入射した位置を特定可能となる。これにより、上下2台の mu-PSD のミュオン入射位置から飛来方向を決定することができる。

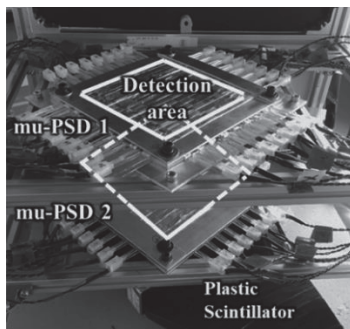


Fig.1 The prototype muography detector

2.2 プロトタイプ検出器の性能

プロトタイプ検出器を用いたインフラ設備探査のテスト実験が、燃焼試験設備の排ガスダクトを対象に行われた。排ガスダクト透過後のミュオンの強度と構造物が存在しない体系でのミュオンの強度から減衰率を導出した。そして減衰率と耐火物の厚みの関係性をシミュレーションより計算し実験結果を厚みに換算した。バックグラウンドとして含まれる宇宙線電子の影響 20%を差し引いた結果を Fig2 に示す。設計図から厚みを算出したものと比較した結果、厚みや形状、位置はほとんど一致していた。しかし、検出器セットアップから実験終了まで1カ月以上の実験期間を要した。インフラ設備探査にはより短い計測時間が要求されるため、計測時間の短縮が必要であることが分かった。

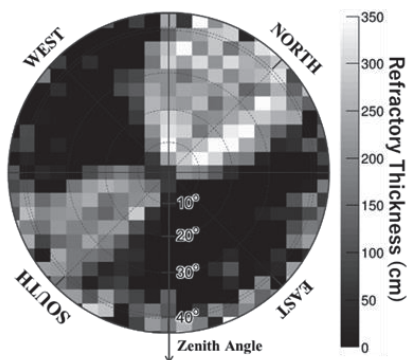


Fig.2 Refractory thickness map

3. 改良型検出器の設計

計測時間を短縮するには、ミュオンを多く検出する必要がある。その方法として、検出面積を広くすることが効果的である。実用の際は、プロトタイプ検出器で得られた計測時間を 1/5 以下にする必要がある。このため

に、検出面積を約 5 倍となる様設計した。

また、MPPC のダークカウントと、ミュオンによる信号の波高が、一部重なっているため、プロトタイプ検出器で取得したデータの解析では、その領域のイベントを用いることができない。ダークカウントとミュオンのイベントの重複部を低減できれば、検出効率の向上が可能となる。そこで、ミュオンイベントによる波高を増加させるため、PSF の選定を行った。4 種類の PSF の候補を MPPC に接続し、 ^{90}Sr β 線源照射によって得られる波高分布を計測して比較を行った。各 PSF から得られた波高分布を fig.3 に示す。観測されたピークは PSF を貫通した β 線の平均付与エネルギーに対応している。これにより、BCF-10 が、同じ付与エネルギーでも高い波高を得られることがわかった。そこで改良型検出器にはこの PSF を選定した。

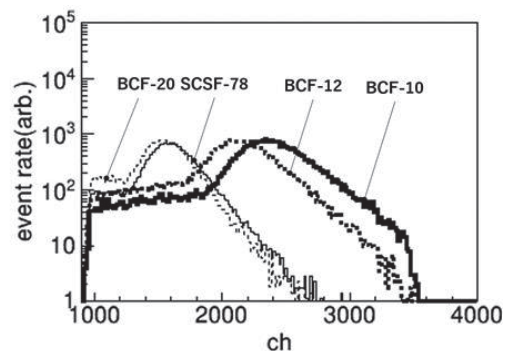


Fig.3 The comparison of deposit energy distribution

4. まとめ

プロトタイプ検出器の課題である計測時間を短縮するため、改良型検出器の設計を行った。検出器を構成する要素を見直すことで、検出器の性能を向上させ計測時間を短縮することが可能となる。今後、改良型検出器の開発をし、それを用いた実計測を行い、実用化へ向けて開発を重ねていく。

参考文献

- [1] H. K. M. Tanaka, et al., "Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano", Nature Communications 5, 2014, 3381.
- [2] K. Borozdin, et al., "Cosmic Ray Radiography of the Damaged Cores of the Fukushima Reactors", Phys. Rev. Lett. 109, 2012, 152501.
- [3] 大野裕明 他, "可搬性の高い小型ミュオグラフィ検出器の開発研究", 放射線, 41, 2016, pp.163-169.