

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12629

研究課題名(和文) インフラ設備の迅速探査にむけたエネルギーウィンドウ型ミュオグラフィ手法の開発

研究課題名(英文) Energy Window Muography for Fast Infrastructure Exploration

研究代表者

金 政浩 (Kin, Tadahiro)

九州大学・総合理工学研究院・准教授

研究者番号：80450310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々はミュオグラフィの小型施設への展開を目的としている。その場合以下の2点が極めてながい計測時間の原因となっている。「(1)対象が小さく対象透過前後のミュオン数の差が小さい」、「(2)20%程度測定データに混入する電子の減算で統計的不確かさが大きくなる」これを解決するため、(1)小さい対象で吸収の起こらない高エネルギーミュオンイベントおよび(2)宇宙線電子イベントを除去可能計測システムを開発した。特徴としてチェレンコフ検出器1台で両者ともに除去可能なシステムとなっている。本研究期間中にシミュレーション、検出器設計・製作、テスト測定までが完了した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、小型施設を対象としたミュオグラフィで低コントラストかつ長期間測定の原因となっていた高エネルギーミュオンと宇宙線電子イベントを除去する計測システムを開発した。原理としては、ミュオグラフィ検出器で記録されるイベント(全エネルギー領域の宇宙線ミュオン・電子)のうち、アクリルのチェレンコフ輻射では高エネルギーミュオンと電子がほぼ同一となることに着目して、ある閾値を下回るイベントのみのデータを記録することで低エネルギー成分のミュオンのみを選択することが出来るようになっていく。この閾値は容易に変更が可能である。これにより、測定対象の規模に応じた本手法の適用を可能としている。

研究成果の概要(英文)：This study aims at muography application for smaller objects, e.g., concrete buildings and furnaces. Such small things never absorb a sufficient number of cosmic-ray muons while absorbing almost all cosmic-ray electrons recorded together with muons. We have proposed a detection system that can remove both high-energy muons and almost all the electrons by a Cherenkov detector. The muon removal makes the muon detection number more different between background and foreground. Next, the detection system can drastically decrease the electrons' subtraction statistical uncertainty. In the duration, a feasibility study has been done by simulation approach and design of the detection system. And then, the fabricated detection system can obtain the first test data.

研究分野：放射線計測学

キーワード：宇宙線ミュオン エネルギーウィンドウミュオグラフィ 人工建造物透視

1. 研究開始当初の背景

インフラ設備探査の重要性は研究開発当時から現在まで、徐々に増してきている。日本は1954年から約20年間の高度経済成長期に、道路橋、トンネル、河川管理施設など多くのインフラが加速度的に整備されていった。これらの施設は、建築から50年をすぎると老朽化していると判断される。国土交通省の調べでは、2030年頃にはこれらのうち半数以上のインフラ設備が老朽化を迎えることになる。つまり、これらの施設を適正に維持管理(O&M)することが、日本の安全で安心な社会基盤を守る上で極めて重要となってきた。

2. 研究の目的

そこで、本研究では地表のあらゆる場所で利用可能な自然放射線「宇宙線ミュオン」を用いた透視技術ミュオグラフィによる劣化探査に着目した。現状の問題点として、小型施設では透視画像のコントラストが低く、極めて計測時間が長くなってしまうことがあげられる。その問題を解決するため、計測時間を短縮化できるエネルギーウインドウミュオグラフィを可能とする検出システムの開発を目的とした。

3. 研究の方法

小型施設のミュオグラフィによる透視画像の低コントラストの原因は、以下の2点である。

- 1) 計測データの約20%を占める、宇宙線電子および陽電子 (以下、宇宙線電子成分)
- 2) 小型対象では劣化の有無に関わらず完全に貫通してしまう高エネルギー宇宙線ミュオン

これに対して、チェレンコフ放射が

- i) ほとんど全ての宇宙線電子(数 MeV 以上)
 - ii) 高エネルギー宇宙線ミュオン(チェレンコフ放射体の屈折率に応じて 100 - 1 GeV)
- で強度が高く、ほぼ等しくなることに着目した。これらの特徴より、チェレンコフ検出器からの信号強度に閾値を適切に設定して、それ以下のイベントを選別することで、1)および2)の妨害イベントを両方除去することを可能としている。

今回提案した検出システムの概要図と写真を Figure 1 a)および b)に示す。

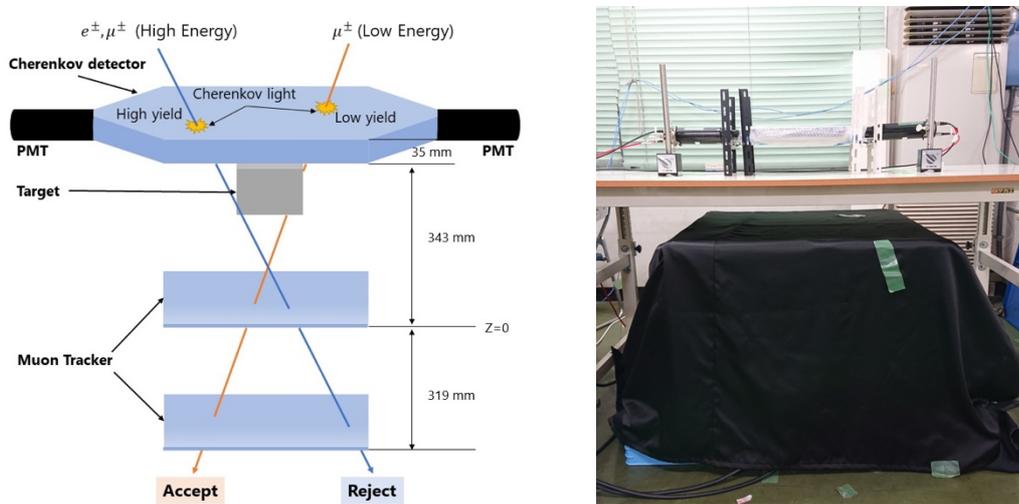


Figure. 1 a) 開発した計測システムの概要図と b) その写真 (図中の遮光布で覆われた部分の内部にミュオントラッカーが設置されている。

4. 研究成果

本計測システムにおける、1)と2)の識別能を調べるため、各成分について生成するチェレンコフ光子量をシミュレーションによって導出した結果を Figure2 a)および b)に示す。この結果から、チェレンコフ放射の光子数 100 以下のイベントのみのイベントを利用することで、約 150 MeV 以下のミュオンのみを抽出できる可能性があることがわかった。

つづいて、計測対象領域に1辺が10cmの立方体のコンクリートを設置した場合の減衰率分布を同様のシミュレーションで Figure 3 のように得た (なお、チェレンコフ検出器を通過しなかったイベントはプロットしていないため、白く表示されていることに注意)。

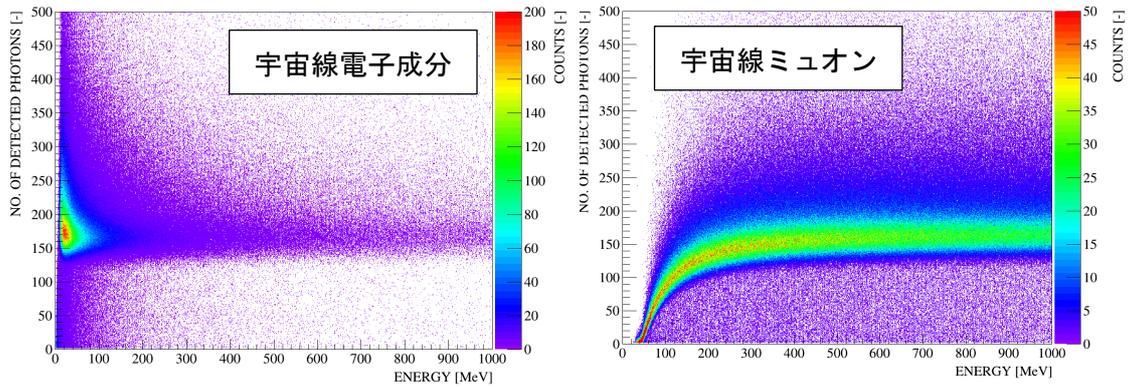


Figure. 2 a) 宇宙線電子成分および b) 宇宙線ミュオンによるチェレンコフ輻射で生成した光子数の関係。100 光子数以下のイベントのみを選別すれば 150 MeV 以下のミュオンイベントのみを抽出できる可能性を示している。

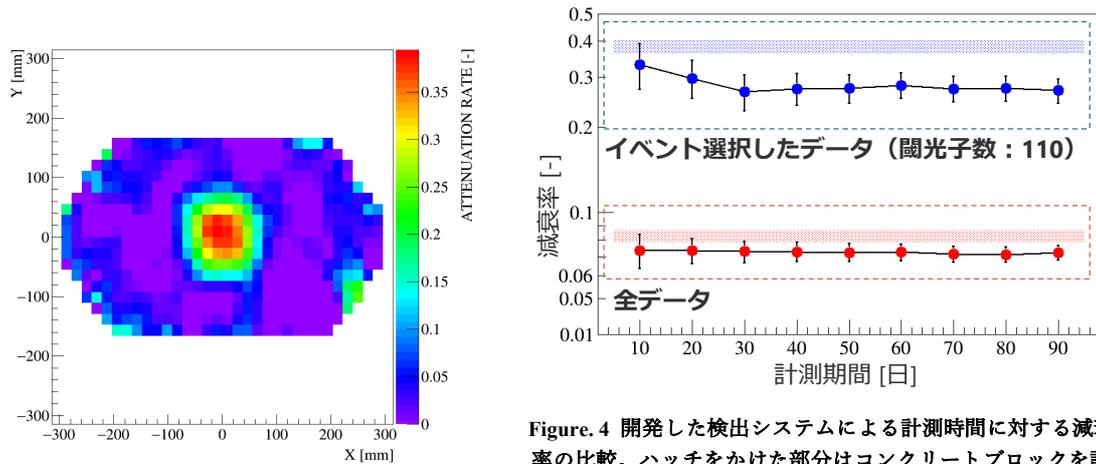


Figure. 3 通常のミュオグラフィ透視画像では減衰率は数%程度だが、35%以上の強いコントラストをつけることができている

Figure. 4 開発した検出システムによる計測時間に対する減衰率の比較。ハッチをかけた部分はコンクリートブロックを設置した場合の減衰率の平均値を表しており、その減衰率の幅はガウス分布を仮定した場合の標準偏差を示している。

最後に、本検出システムを用いて、コンクリートブロックがある場合とない場合の、チェレンコフ検出器によるイベント識別がある場合とない場合の計数をテストデータとして得た。その計数率のデータから得られる、減衰率の推移を計測時間の関数としてプロットした結果を Figure 4 に示す。全データを用いた場合はコンクリートブロックが存在する場合とそうでない場合を統計的に有意に識別するのに 40~60 日を要するのに対し、チェレンコフ検出器によるイベント識別を用いると 20 日程度で識別ができている。このことから計測時間を倍以上短縮できる可能性を示した。

今後は減衰率マップを作成し、2 次的に解析を実施する必要があるが、チェレンコフ検出器がないの光伝播の影響を補正することが 2 つの光電子増倍管のみのデータでは困難であることが明らかとなったため、その 2 次元分布が取得可能な計測システムへ発展させればよいということがわかっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡本 直也、金 政浩、佐藤 光流、関口 恒
2. 発表標題 チェレンコフ検出器によるミュオグラフィの高速化とノイズ除去手法
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本直哉、金 政浩、佐藤光流、小森智博、竇来 悠
2. 発表標題 チェレンコフ検出器を用いた低エネルギーミュオン弁別手法
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（中止だが発表済扱い）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新城優治、金 政浩、納富昭弘
2. 発表標題 3Dプリンタを用いた熱中性子計測ようプラスチックシンチレータの開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（中止だが発表済扱い）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学研究者情報
<https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K004649/index.html>
九州大学研究者情報 金 政浩
<https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K004649/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------