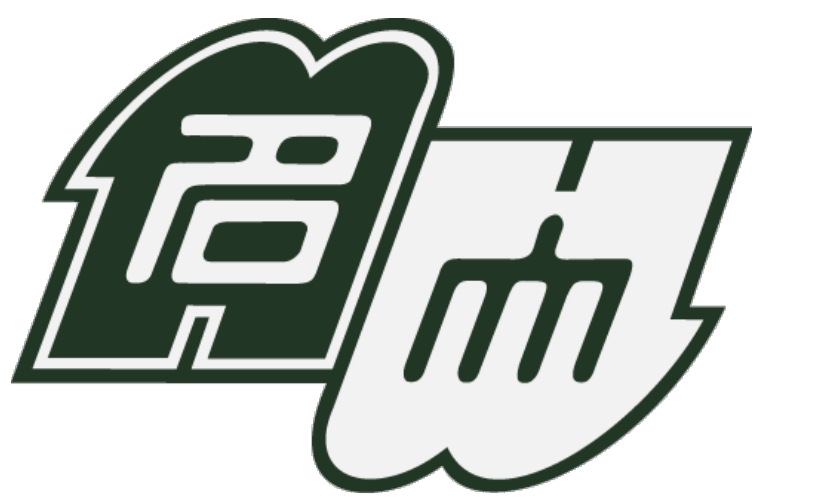


# ガス検出器の土木科学への応用に関する研究



名古屋大学理学研究科 修士2年 和田 有咲

## はじめに

地球には、宇宙空間から飛来する高エネルギーの粒子(宇宙線)が多く降り注いでいる。この粒子は大気中の窒素や酸素の原子核と衝突し2次宇宙線を生成する。ミュオンは2次宇宙線の一種で以下のような性質を持つ。

- 質量は電子の約200倍
- 電荷を持つ
- 高い透過力(高エネルギーのものでは厚さ数kmの岩盤を突き抜ける)
- 一方で、高密度の物質中では止まってしまう

この性質を利用すると、検出器を観測対象の周囲に設置し、観測対象を通過したミュオンの数を検出することで、非破壊で巨大構造物を透視すること(ミュオンイメージング)ができる。ATLAS実験で使用するガス検出器で通常用いるのはCO<sub>2</sub>とノルマルペンタンの混合ガスだが、ノルマルペンタンは可燃性であり扱いが難しい。

本研究は、ガス検出器のコンパクトな読み出しシステムを構築し、CO<sub>2</sub>ガスを用いる場合の検出性能を評価した。また、将来の土木科学への応用可能性を検討した。



図1 物質の最小の構成要素である素粒子

## ガス検出器の動作原理

ガス検出器はアノードのワイヤーとカソードのストリップで構成され2次元読み出しが可能である。

### 検出原理

1. 荷電粒子がガスを電離し電子を生成 (図2)
2. 電子がガスの電離を繰り返し電子雪崩
3. 正の電圧が印加されたワイヤーとストリップで電荷を読み出す

- 位置分解能：1層あたり ~1 cm以下
- 時間分解能：25 ns以下
- 大型(タテ×ヨコ = 1.5 m×2.0 m)
- リアルタイムでデータ取得が可能

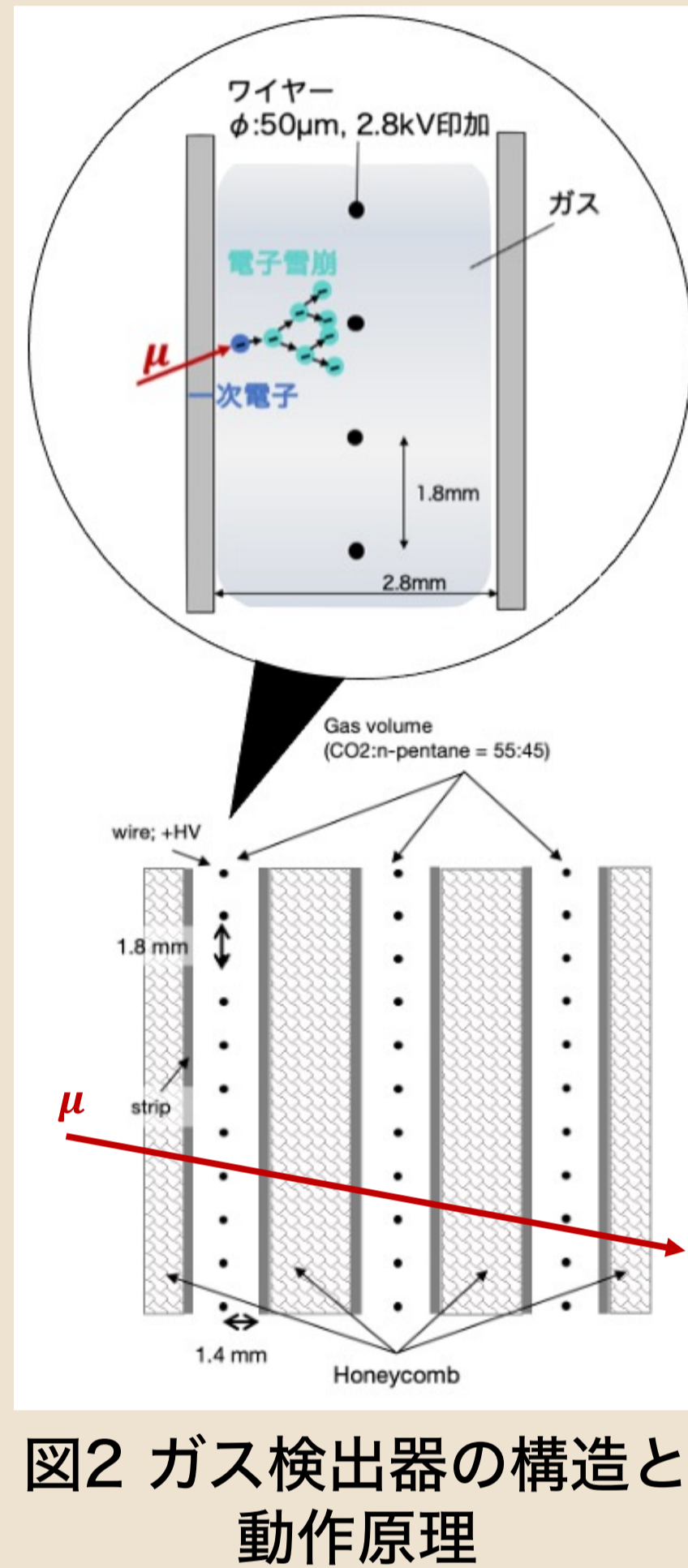


図2 ガス検出器の構造と動作原理

## 宇宙線ミュオンの検出

$$\text{layer1の検出効率} = \frac{(\text{layer0} \& \text{layer1} \& \text{layer2})}{(\text{layer0} \& \text{layer2})}$$

印加電圧値 V	2600	2700	2800	2900	3000
ワイヤー検出効率 %	58	67	71	83	89
ストリップ検出効率 %	38	53	53	74	82

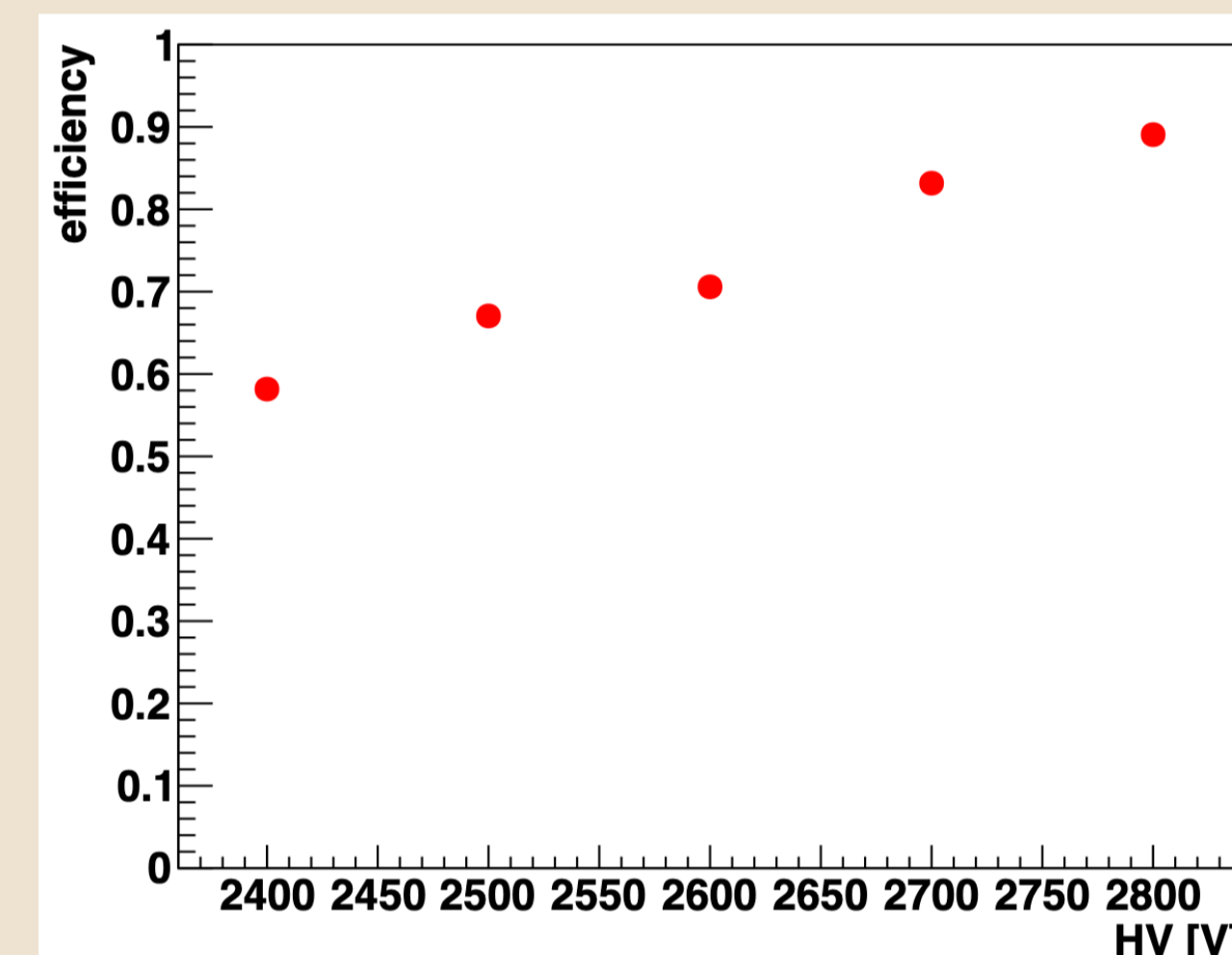


図4 ワイヤーlayer1の検出効率

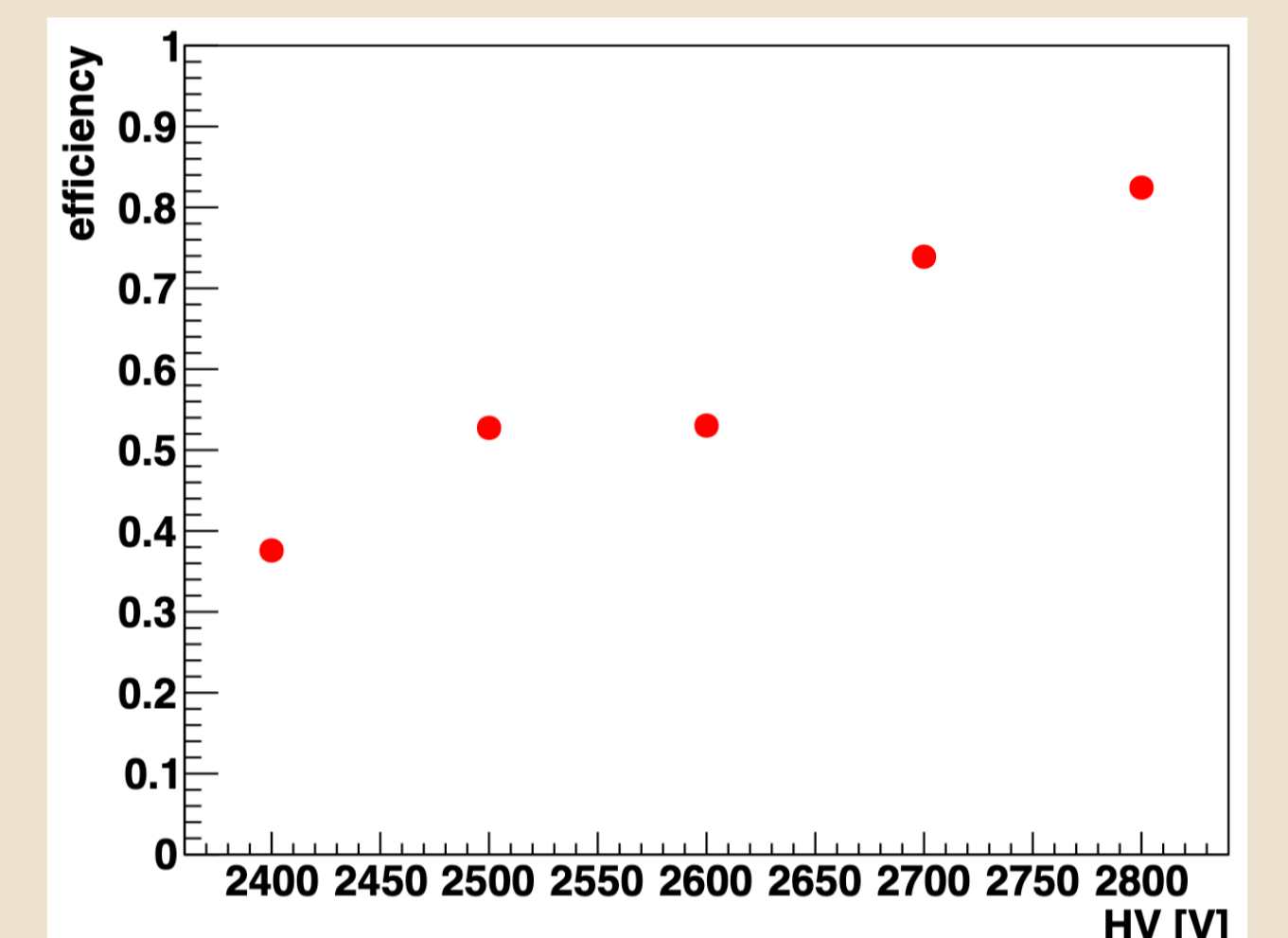


図5 ストリップlayer1の検出効率

## 実験セットアップとデータ読み出しシステム

### 実験のセットアップ

- 図3に示すように、1つの検出器に対して2台の回路を使用する
- ガス：CO<sub>2</sub>
- ワイヤー印加電圧：2600 Vから3000 Vまで100 Vずつ変化

### データの流れ

1. ASDで信号の波高と閾値電圧の値を比較し、信号の波高の方が大きい場合デジタル信号 (LVDS)を前段回路へ送る
2. 前段回路のFPGAでASDから受信した256チャンネルのデータをクロック (40 MHz)にタイミングを揃え後段回路へ送る
3. 後段回路に搭載されたZynq SoCで3層中2層以上で信号を検出した事象のみのヒット情報を保存する

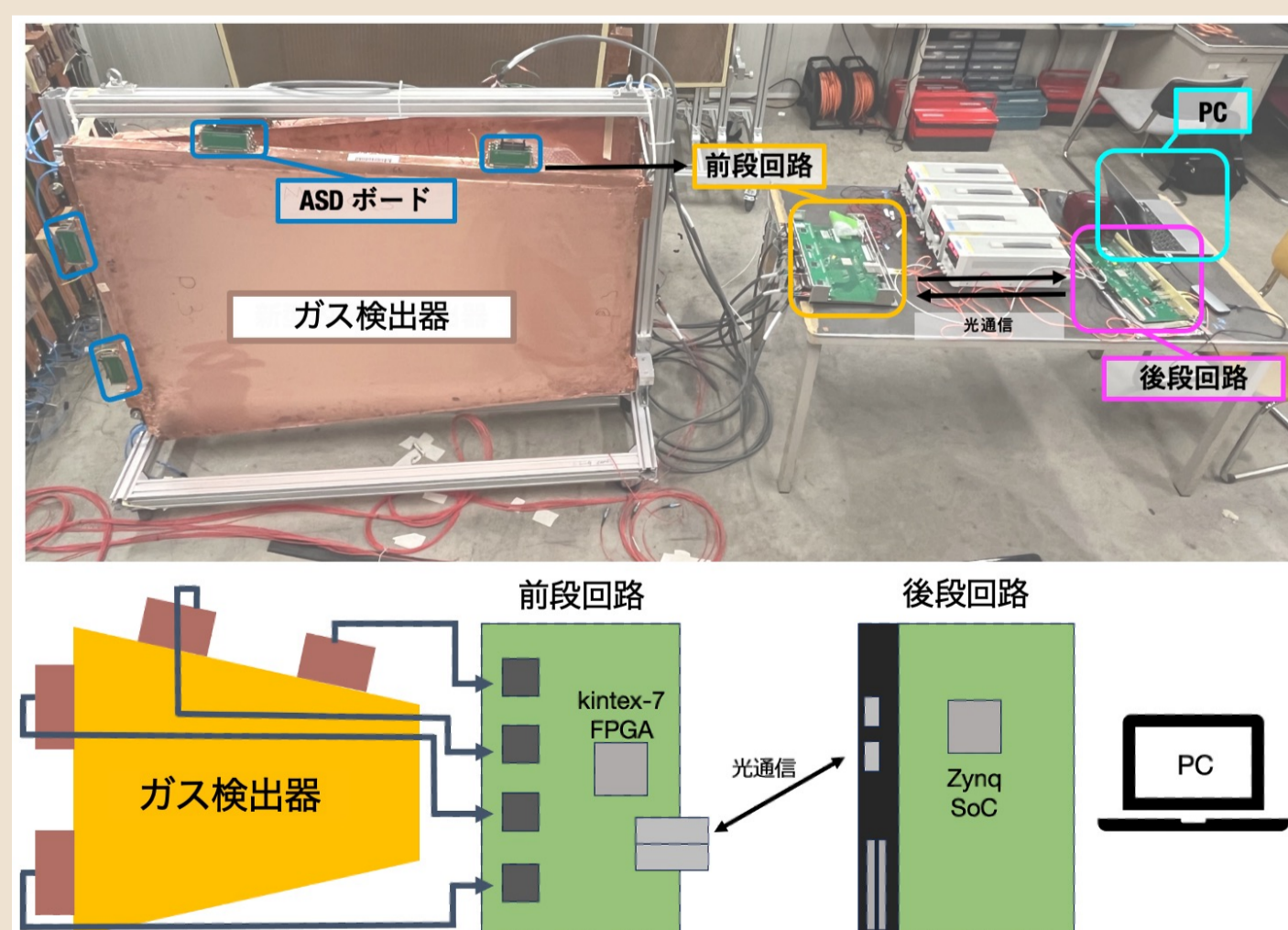


図3 実験のセットアップ

ミュオンイメージングにおいて4層使用し、2層以上でヒット信号を要求する場合の検出効率は以下のように推定される。

印加電圧値 V	2600	2700	2800	2900	3000
ワイヤー検出効率 %	80	89	92	98	100
ストリップ検出効率 %	63	73	73	94	98

## 土木科学への応用の検討

河川堤防の内部構造の透視を例に挙げて応用可能性を示す。検出器間を10 mとして、電圧値2900 Vを用いると、CO<sub>2</sub>のみで検出効率はワイヤーで98% (ストリップで94%)、角度分解能はO(1) mradでミュオンを測定できる。図6のシステムでは検出層が2層のガス検出器を4台使用している。検出器、読み出しシステム、ガスともに簡易的な部屋に置くことを想定している。洪水災害の発生機構の解明や、堤防の科学的安全管理に役立てられる可能性がある。

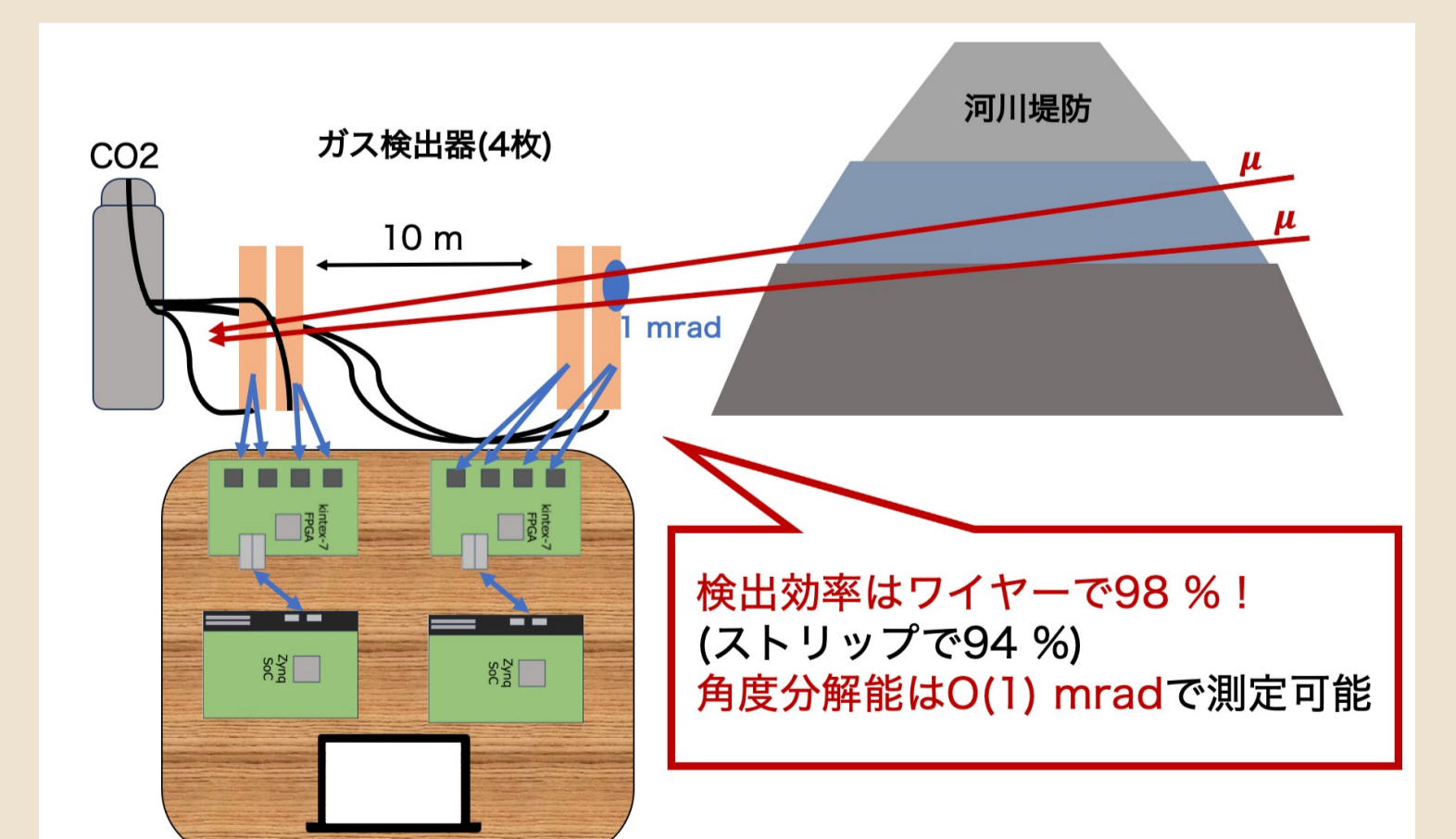


図6 実験のセットアップ

## まとめ

本研究では、ガス検出器のコンパクトな読み出しシステムの構築とCO<sub>2</sub>ガスを用いる際のミュオン検出効率の評価を行った。合計8層のガス検出器を用いることで、河川堤防の透視は検出効率90%、角度分解能O(1) mradを得られると推定した。今後、使用するガスの種類の更なる研究と、多層の検出器から取得した信号を読み出すシステムの構築が必要である。