

事故由来放射性セシウムの可視化； ガンマカメラ、コンプトンカメラそして セシウムカメラ®の比較検討

豊田亘博(豊田放射線研究所) 大槻宗司(同)
高橋正二(高橋科学) 濱島健二(豊田放射線研究所)

セシウムの可視化

- 目に見えることの大切さ; 過去に放射性物質を扱った経験から「幽霊を捕らえてみれば枯れ尾花」
- 住民の人々→リスクコミュニケーションの手段
- 市町村の放射線アドバイザー; 理解、納得し、安心してもらえる有効な方法
- 除染業者; 効率的な除染への第1歩 どこから放射線が出ているかを把握
- 市町村の除染担当者; 除染前後の調査と記録、住民への説明、保存し経時変化の追跡、汚染土壌の減量化と除染にかかる費用の軽減

放射性セシウムの分布→画像化

- 除染関係ガイドライン第2版(平成25年5月)

表面線量率; GMサーベイメータ

空間線量率; シンチレーション式

サーベイメータ(NaI またはCsI)

- 点による測定からセシウムの分布を面、立体で測定し画像で表示する科学的な方法へ
- 従来の面的な除染→今後はスポット除染へ
- 再除染への要望; 重点的な除染
- セシウムがどこにどれだけ存在しているか、科学的な真実・事実を明らかにすること

「セシウムカメラ[®]」の試作機(2013年9月)

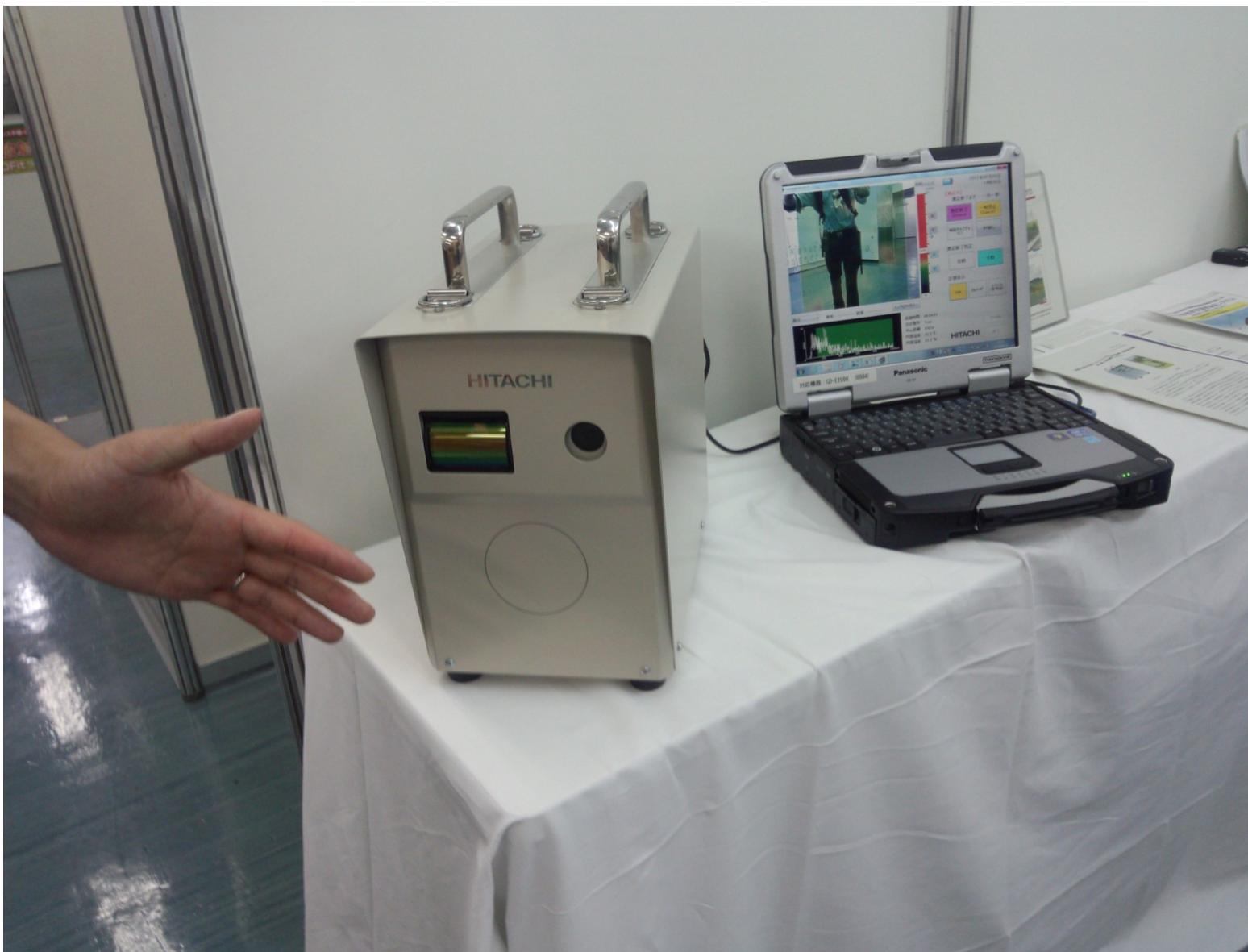


環境放射能除染・廃棄物処理展 (RADIEX 2013) 併設フォーラム

- 2013年9月26日(木)13:30～16:30
- 東京・科学技術館
- 評議者2名、運用者3名、参加者400名
- B-2 新技術プレゼンテーション(20分)
+Q&A(20分)

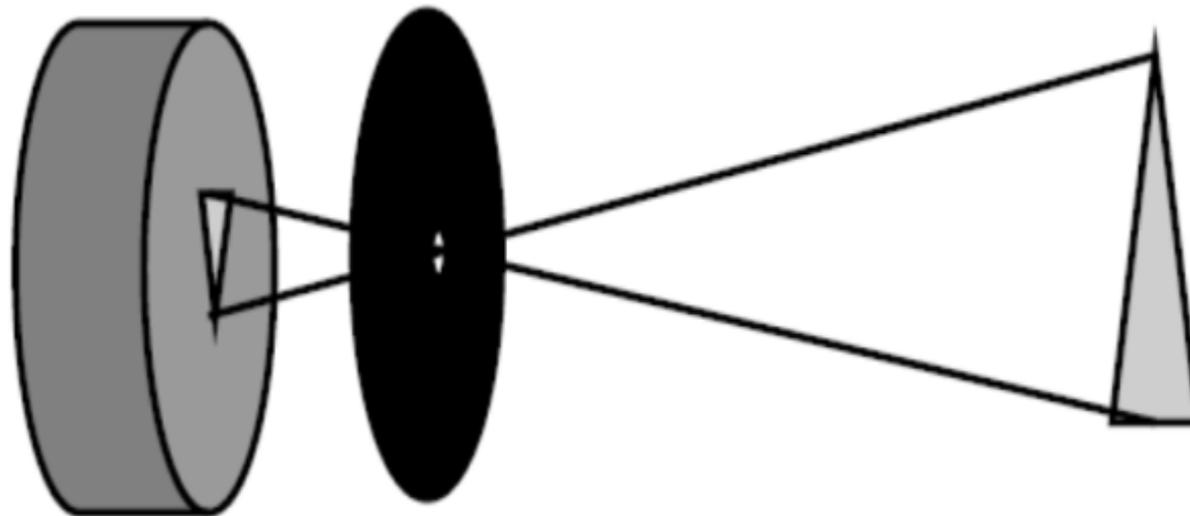
演題 「符号化多孔窓(Coded Aperture)を用いた除染用セシウムカメラ[®]の評価」

従来の「ガンマカメラ」 針孔写真機の原理によるピンホールコリメータ方式

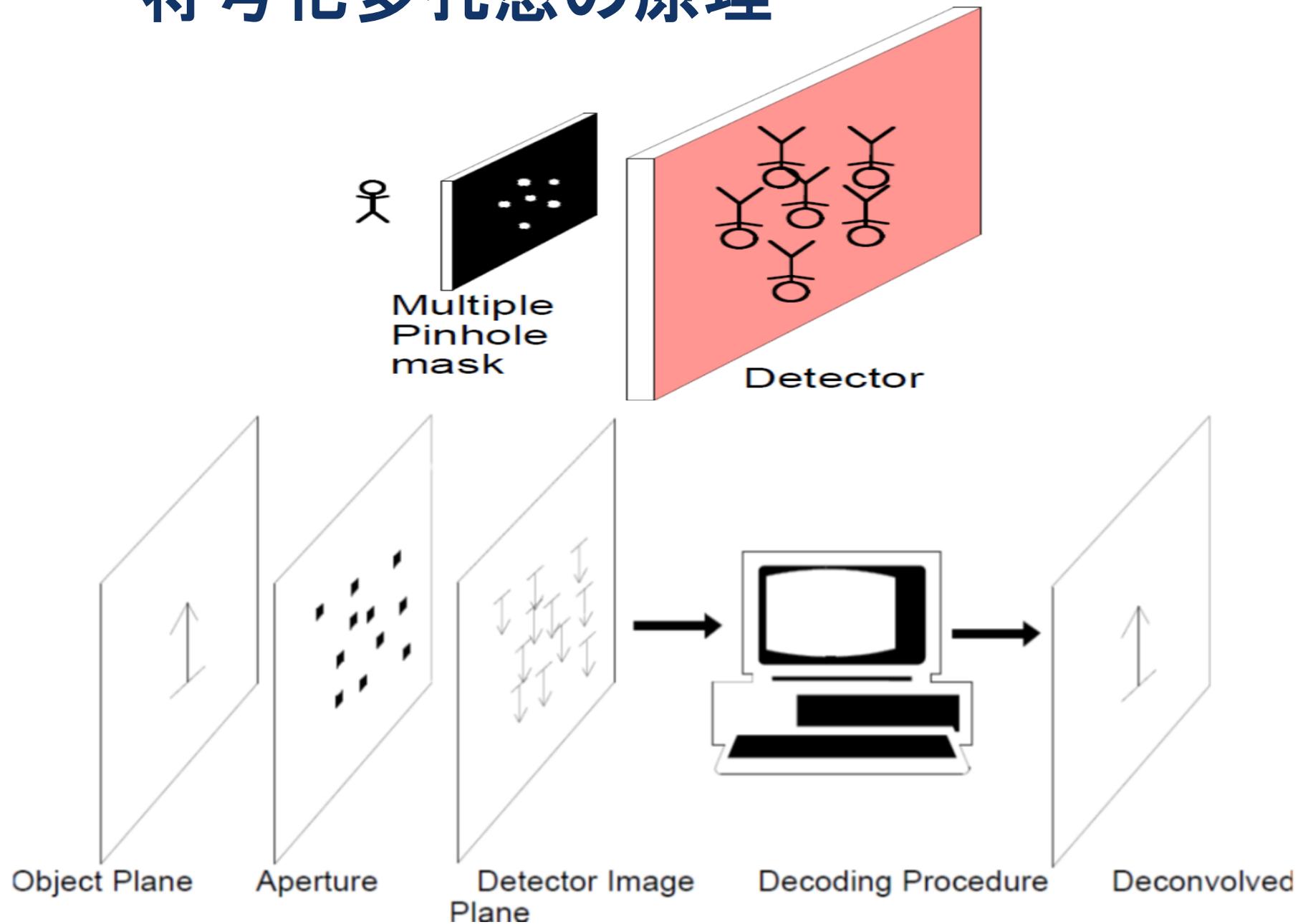


ピンホールコリメータ方式に基づく「ガンマカメラ」

- 孔の大きさ: 入射光量と解像度のバランス
- 課題1: アーチファクト(偽像; 幻の映像)の出現
- 課題2: 撮像時間の長いこと(20分~40分)
- 課題3: 重量 30kg以上(一人では運べない)

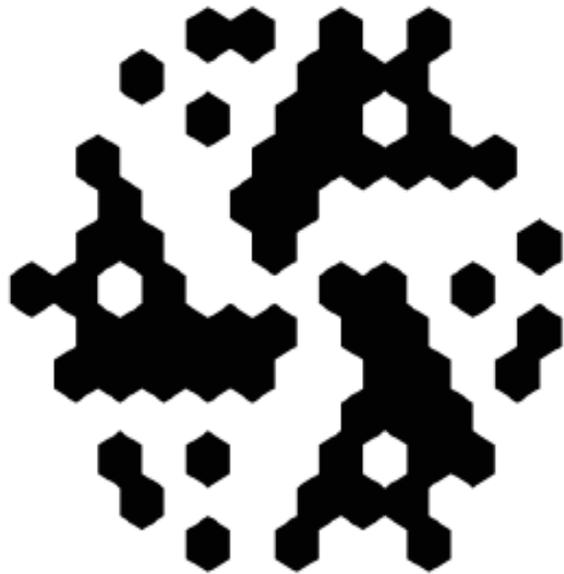


符号化多孔窓の原理



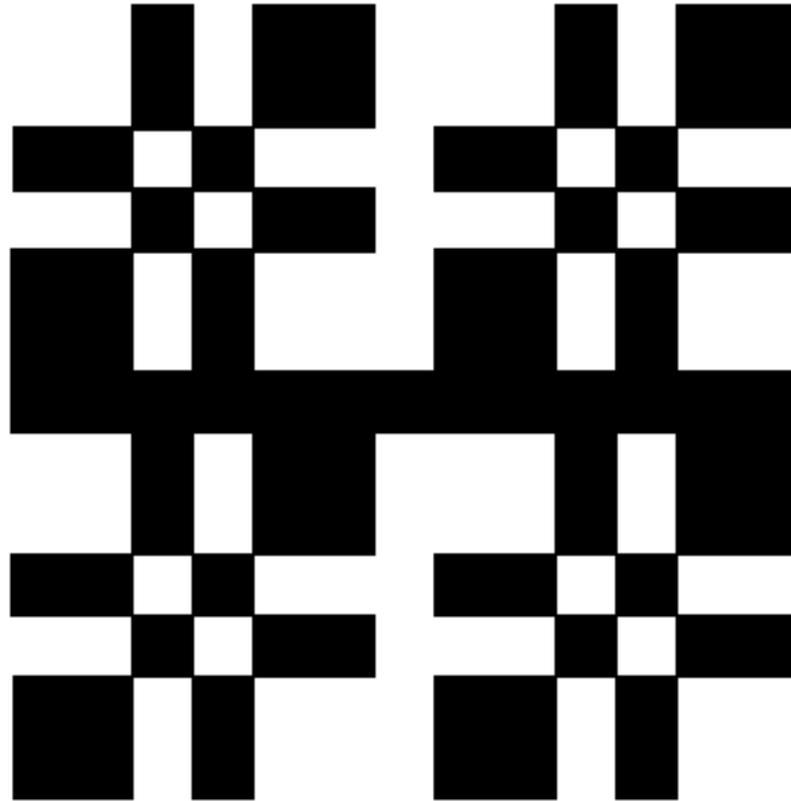
符号化多孔窓 (Coded Aperture) の例

- Hexagonal Uniformly Redundant Array (HURA)



符号化多孔窓 (Coded Aperture) の例

- MURA Modified Uniformly Redundant Array



ピンホールカメラと符号化多孔窓 (Coded Aperture)による光学像の比較

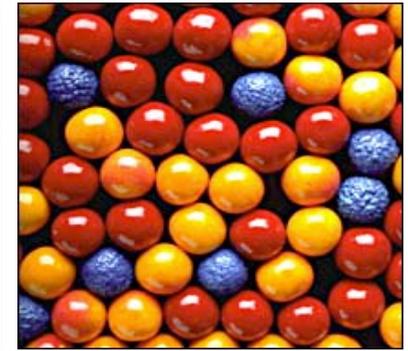
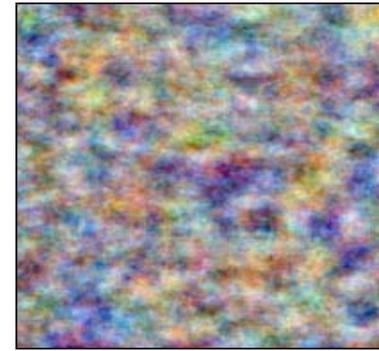
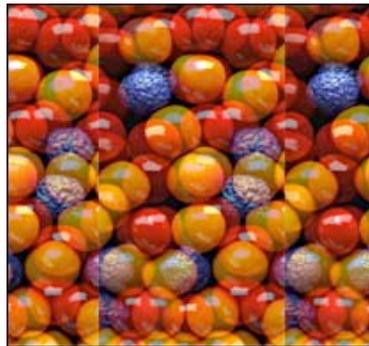
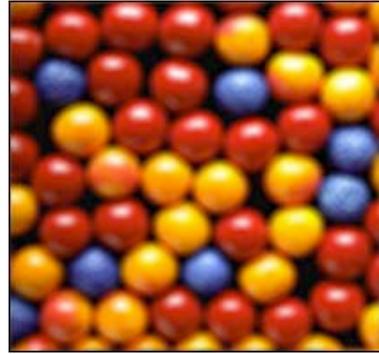
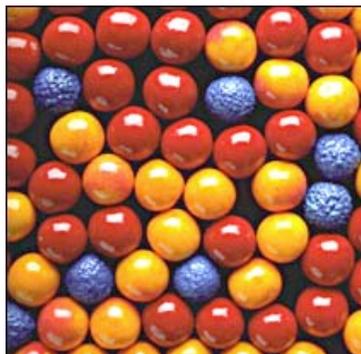
実際の物体

ピンホール

多孔窓

符号化多孔窓

再構成画像



符号化多孔窓による利点

- 高い分解能
- 鮮明な映像
- 短い撮像時間

セシウムカメラ

光学カメラ

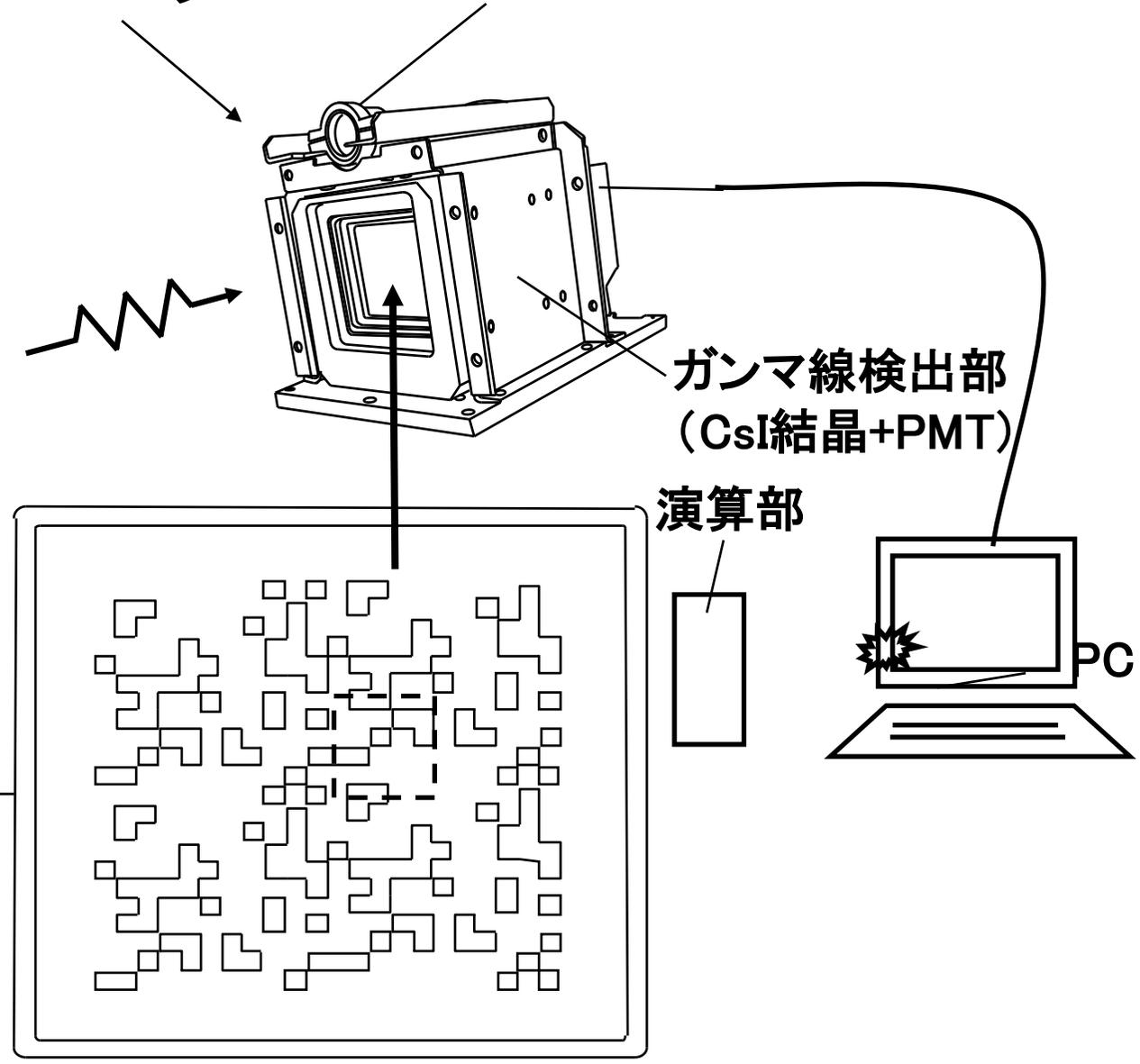
放射線源

ガンマ線検出部
(CsI結晶+PMT)

演算部

PC

符号化多孔窓



**1mの距離で4.5 μ Sv/h (BGD 1.5 μ Sv/h)
実質3 μ Sv/h →ホットスポット
10MBq Cs137+5MBq Cs134**

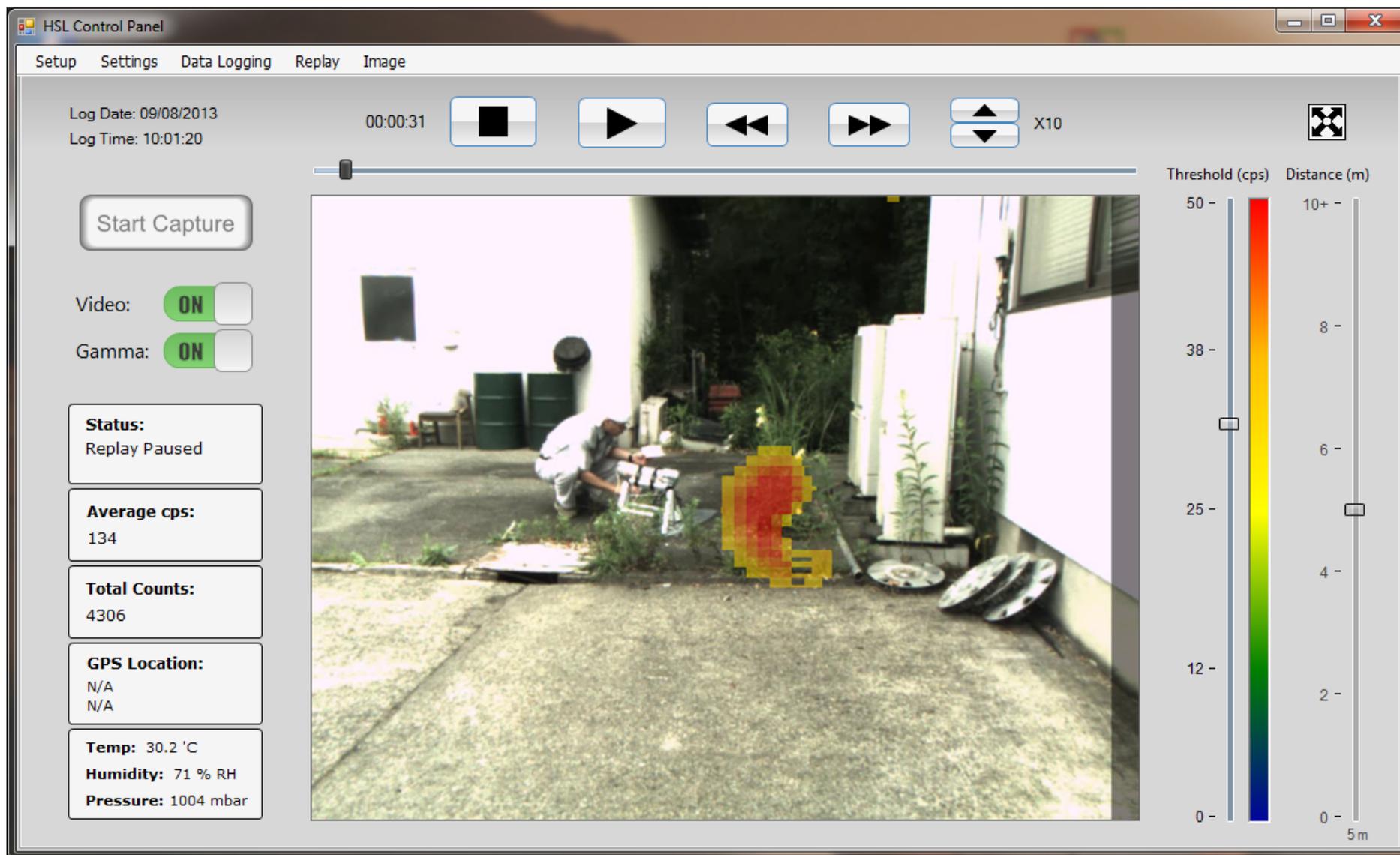


ホットスポット

- ホットスポット＝局所的汚染箇所 明確な定義は決まっていない
- 平成23年10月21日の内閣府、文部科学省および環境省の対応方針「地表から1m高さの空間線量率が周辺より毎時1マイクロシーベルト以上高い数値が測定された箇所」を目安に、局所的汚染箇所の周辺における人の利用状況等を勘案して対処方法を検討すること
- 環境省「放射性物質による局所的汚染箇所への対処ガイドライン」平成25年4月改訂版

最初のセシウムグラフィ (距離5mの位置で30秒間)

BGD 1.5 μ Sv/h 装置の表面 0.18 μ Sv/h



20mの距離で10分間撮像

BGD1.5 μ Sv/h 装置の表面 0.01 μ Sv/h

The screenshot displays the HSL Control Panel software interface. The main window shows a video feed of a white building with a corrugated metal roof. The interface includes a menu bar (Setup, Settings, Data Logging, Replay, Image) and a toolbar with playback controls (stop, play, previous, next, zoom) and a zoom level of X1. A progress bar is visible above the video feed. On the left side, there are control buttons for 'Start Capture', 'Video' (ON), and 'Gamma' (ON). Below these are status boxes for 'Status: Replay Paused', 'Average cps: 101', 'Total Counts: 60458', 'GPS Location: N 37.3182, E 141.0084', and environmental data: 'Temp: 38.7 °C', 'Humidity: 47 % RH', and 'Pressure: 1003 mbar'. On the right side, there are two vertical sliders: 'Threshold (cps)' ranging from 0 to 21, and 'Distance (m)' ranging from 0 to 10+. A color scale legend is positioned between the sliders, ranging from blue (0 cps) to red (21 cps). A 5m scale bar is located at the bottom right of the interface.

セシウムカメラ[®]試作機で分かった課題

- 偽像(アーチファクト)の解消
- 画像の鮮明化
- 測定時間の短縮
- 軽量化を図ること
- 屋外の明るい場所で画面の見えるPCの採用
- 三脚の固定、安定化
- 線源(ホットスポット)までの距離を測定して1m高さにおける空間線量率の増加分を表示



「セシウムカメラ[®]500」の仕様(その1)

1 ガンマ線の検出部

- 検出方式: CsI(Tl)結晶の配列とタングステン製符号化多孔窓(Coded Aperture)の組合わせ
- 視野角: 約60°
- 画素数: 8×8ピクセルを内挿補完し70×70=4900点
- 検出感度: 900 cps/μSv/h
- 測定時間: 3～6分(線源の強さと距離による)
- 測定範囲: 0.04～30μSv/h

「セシウムカメラ[®]500」の仕様(その2)

2 ビデオカメラ

- 表示解像度: 1240 × 768
- 視野角: 約60°

3 機械的仕様

- 寸法: 275 × 204 × 290 mm
- 重量: 20kg以下

4 電気的仕様

- 電源: リチウム電池
- 電池駆動時間: 20時間以上(全充電時)
- 充電時間: 8時間以下(主電源入力の場合)

T町の空き地 (BGD $1.5\mu\text{Sv/h}$) に存在する 自然のホットスポット (Cs-137 換算 13MBq)



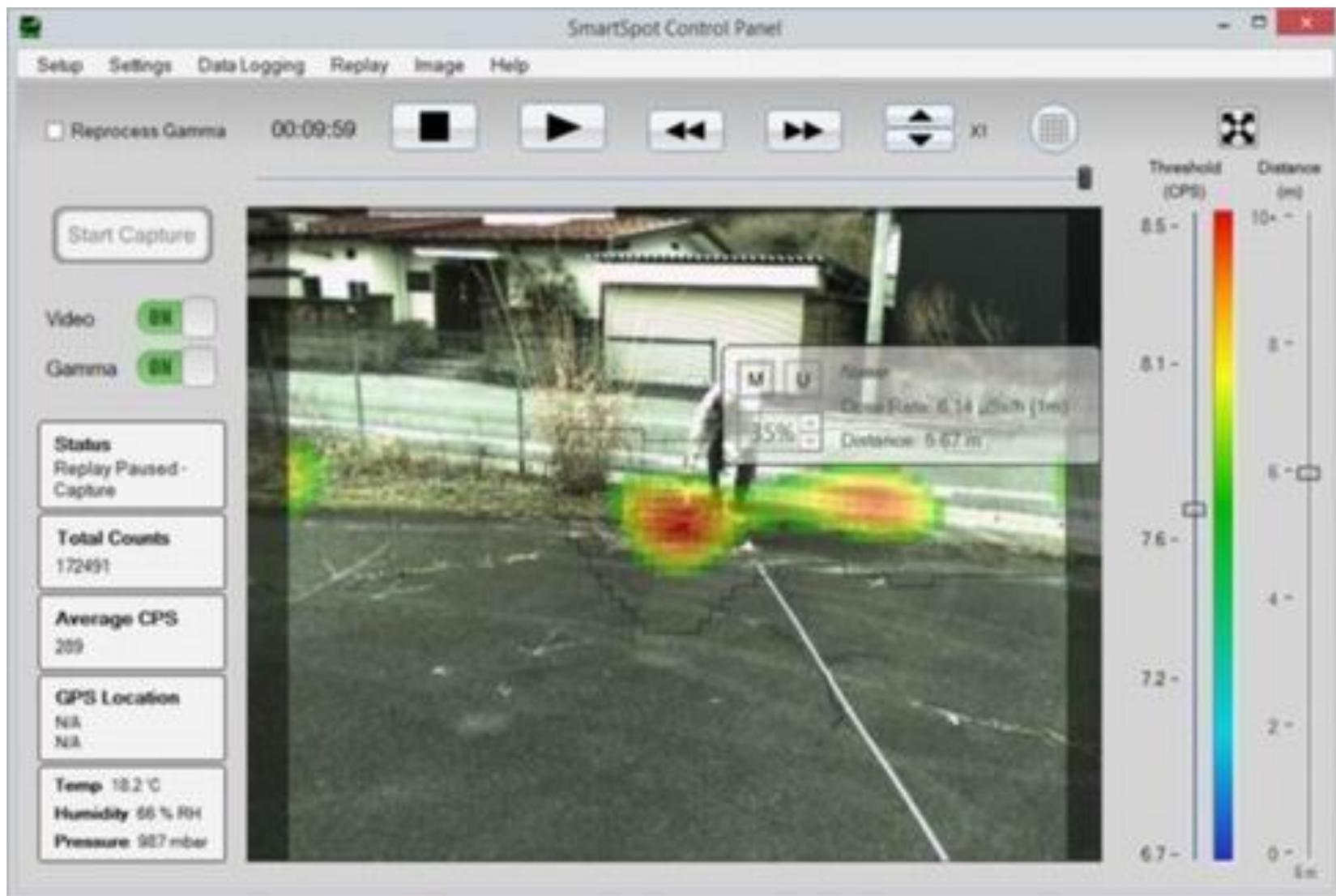
比較試験



H社ガンマカメラによる画像(9分)



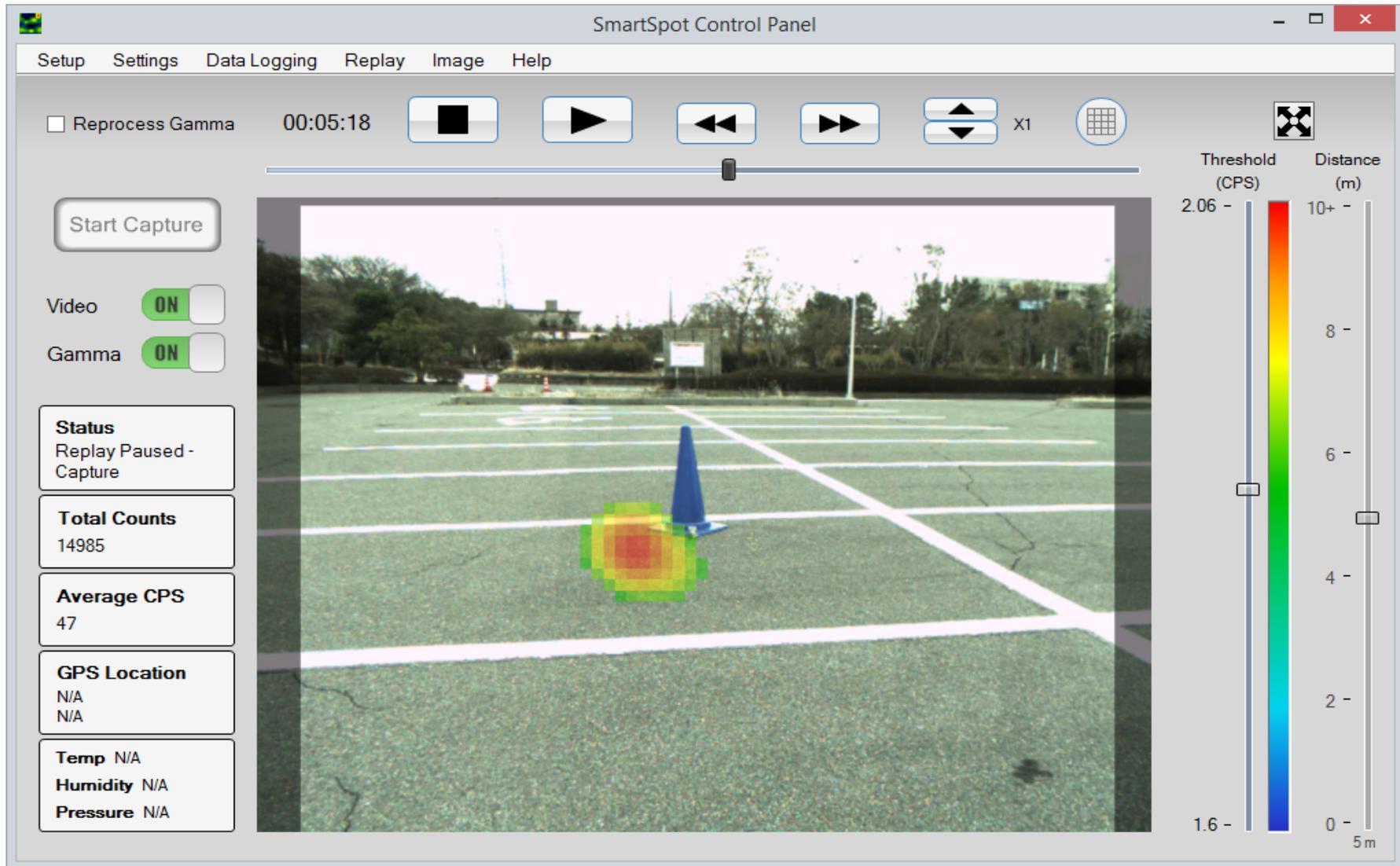
レーザー距離測定から1m高さの空間線量率の増加を計算し表示



除染後のT町スポーツセンター駐車場 (BGD $0.5\mu\text{Sv/h}$)



点線源 (2MBq Cs-137) から 距離5mで5分間撮像



H社ガンマカメラ (10分後)



H社ガンマカメラ(20分後)



セシウムカメラが見つけたホットスポット





競合品との性能比較

- H社のガンマカメラ

ピンホールカメラ方式による限界

地表からのガンマ線が空に映る偽像

長い撮像時間、少ない入射ガンマ線

- H社のコンプトンカメラ

魚眼レンズ; 画像の周辺のはずみ

ホットスポットの特定が困難

ホットスポットが画像の中心にあるとき認識

検出効率 1次散乱と2次散乱の積

符号化多孔窓 (Coded Aperture) 技術 に期待される今後の展開

- 4検出器型による視差の解消、立体画像
 - より高感度で高分解能のカメラによる精密画像
 - 軽量化→人が片手で持てるハンディタイプ
 - 飛行体に搭載して空からセシウムグラフを撮影
 - ガンマ線検出部の結晶を選択してセシウム以外の核種も同定
- 除染以外の場に応用; 廃炉、RIテロ対策など

ガンマ線の画像化-光学画像との重ね合せ

セシウムカメラ® 500

符号化多孔窓採用で短時間測定

特徴

- ガンマ線検出方式
CsI(Tl)結晶の配列
+ 符号化多孔窓の組合せ
- 高検出感度
900 cps/ μ Sv/h 以上
- 短時間測定 -福島県富岡町での実測値-
30秒- カメラ位置での空間線量率0.18 μ Sv/h
測定距離5m,測定土壌¹³⁷Cs10MBq程度
10分- カメラ位置での空間線量率0.01 μ Sv/h
測定距離20m,測定土壌¹³⁷Cs10MBq程度
(バックグラウンド1.5 μ Sv/h)
- 広視野角
60度
- 軽量
約20kg
- 防塵・防水防護等級
IP67 (カメラ部、ケーブル接続時)

主な仕様

<ガンマ線検出部>
測定放射線：ガンマ線
検出器：CsI(Tl)結晶の配列と光電子増倍管と
符号化多孔窓の組合せ
視野角：60度
角度分解能：10度以下
検出感度：900 cps/ μ Sv/h以上
測定時間：5分以下
測定範囲：0.004 μ Sv/h - 30 μ Sv/h

<ビデオカメラ>
解像度：1240X768
映像間隔：毎秒6フレーム以上
視野角：約60度

<機械的仕様>
最大寸法：261X204X337mm
重量：約20kg

特許申請中



<その他>
電池駆動時間：16時間以上 (全充電時)
充電時間：6時間以下
防護等級：IP67 (カメラ部、ケーブル接続時)

ここに記載されている仕様は予告なしに変更されることがあります。