

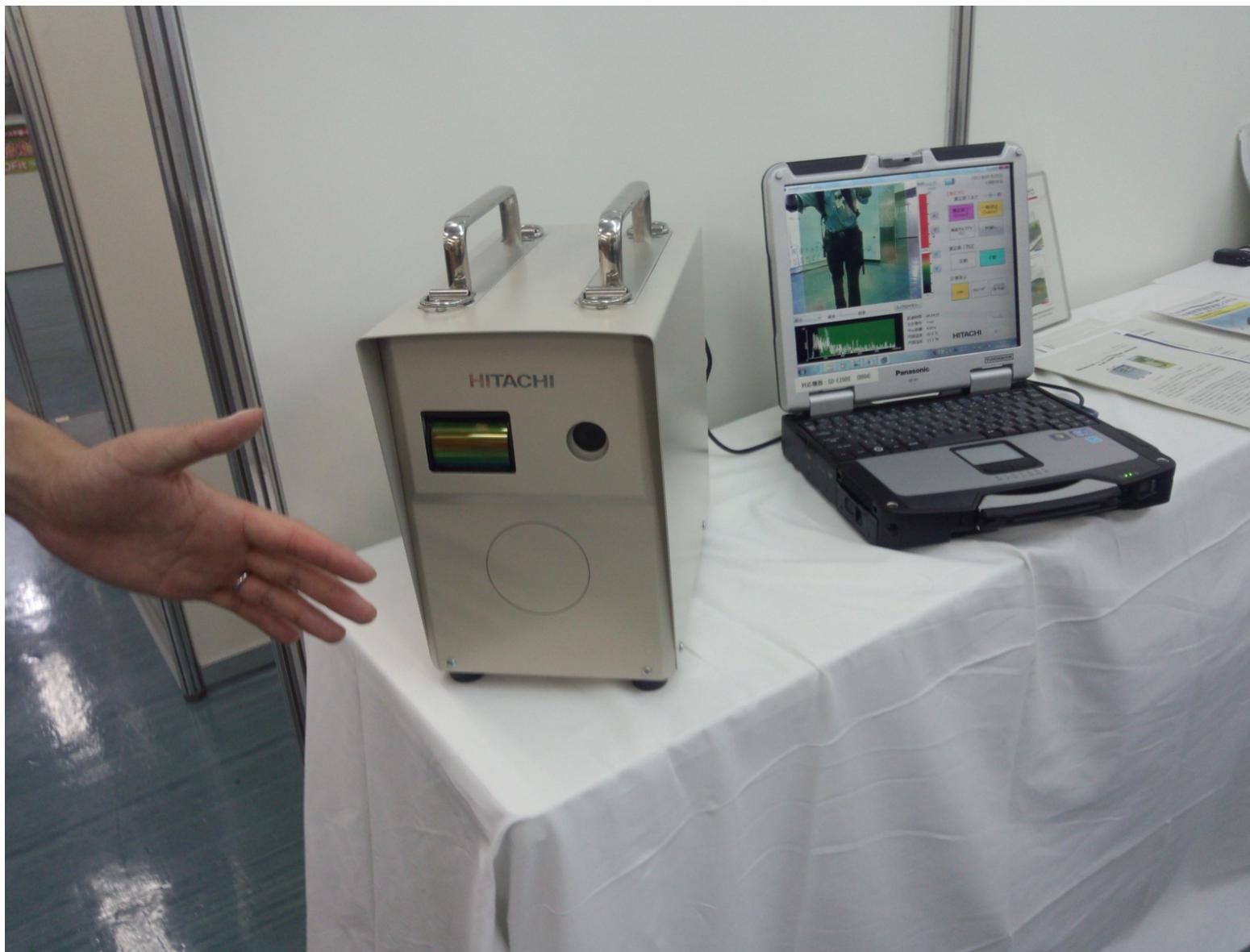
# 符号化多孔窓 (Coded Aperture) を用いた 除染用セシウムカメラ<sup>®</sup>の性能評価

豊田亘博 (A) 大槻宗司 (A) 高田真志 (B) 高橋正二 (C)  
(A) 大阪大学大学院工学研究科 (B) 放射線医学総合研究所  
(C) 高橋科学

# 放射性セシウムの分布→画像化

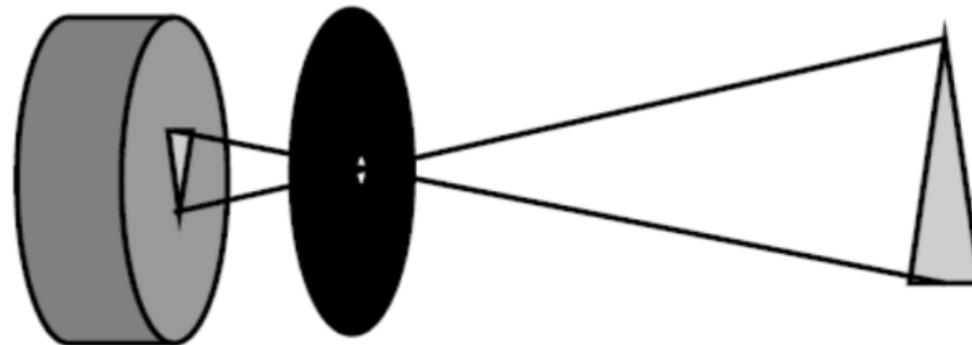
- 除染関係ガイドライン第2版(平成25年5月)  
表面線量率; GMサーベイメータ  
空間線量率; シンチレーション式  
サーベイメータ(NaI またはCsI)
- 点による測定からセシウムの分布を面、立体で測定し画像で表示する科学的な方法へ
- 除染前のホットスポットの把握→除染作業後の確認→住民の方々への説明→記録の保存
- 除染作業の効率化と除染土壌、除染廃棄物の減容化に貢献

# 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



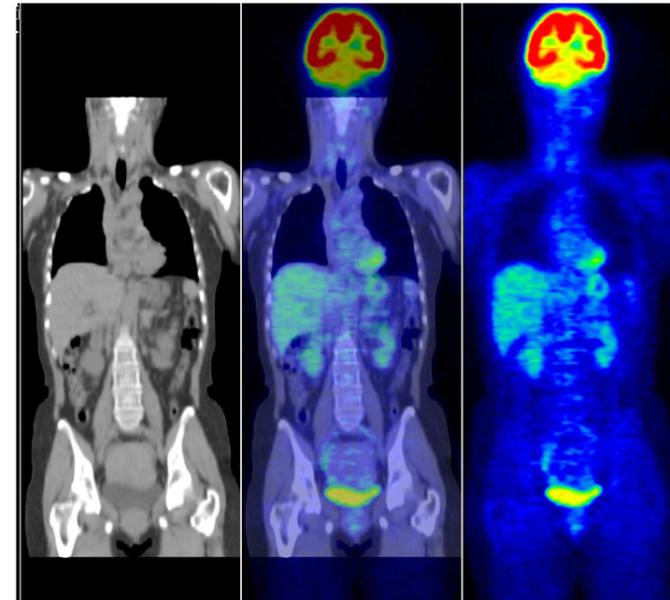
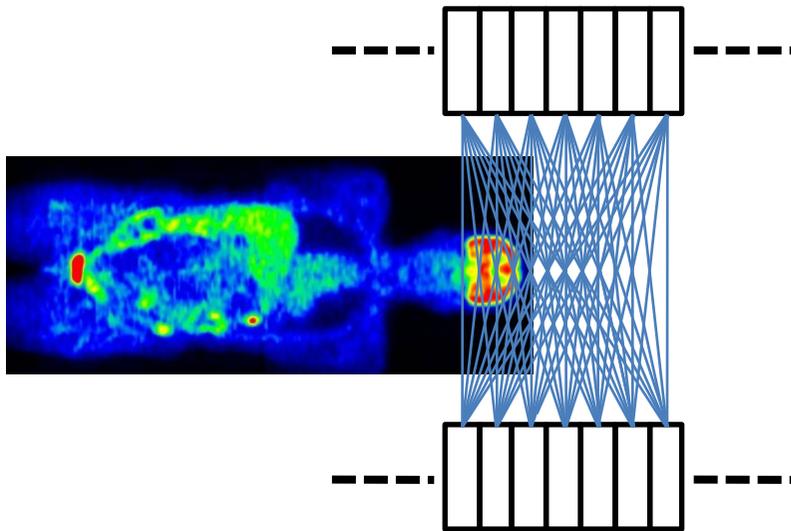
# ピンホールコリメータ方式に基づく「ガンマカメラ」

- 孔の大きさ: 入射光量と解像度のバランス  
→アイソトープ検査(核医学)や原発内の強い放射線源の種類と位置の特定には有用



# 臨床用PET-CT：全身ブドウ糖代謝

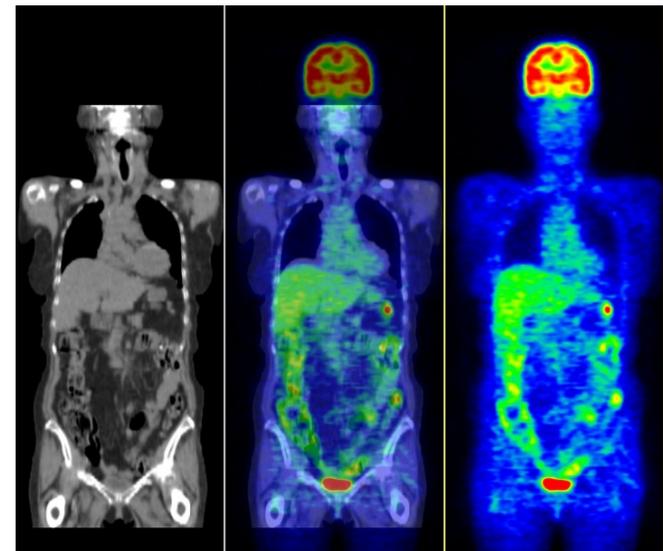
高分解能・高感度臨床  
PET装置



CT

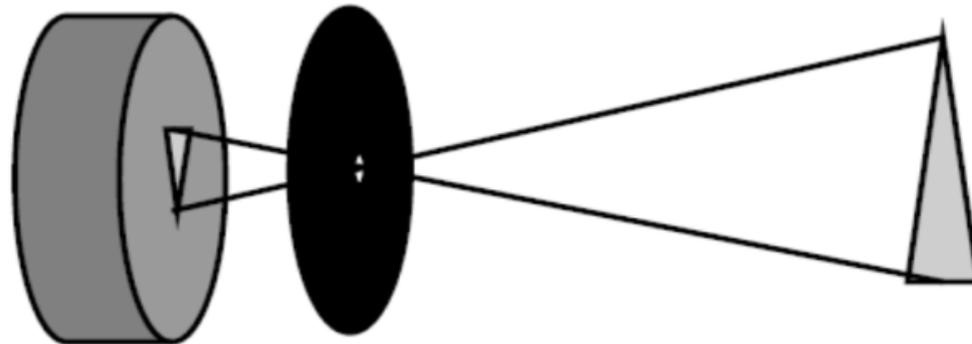
PET-CT

PET



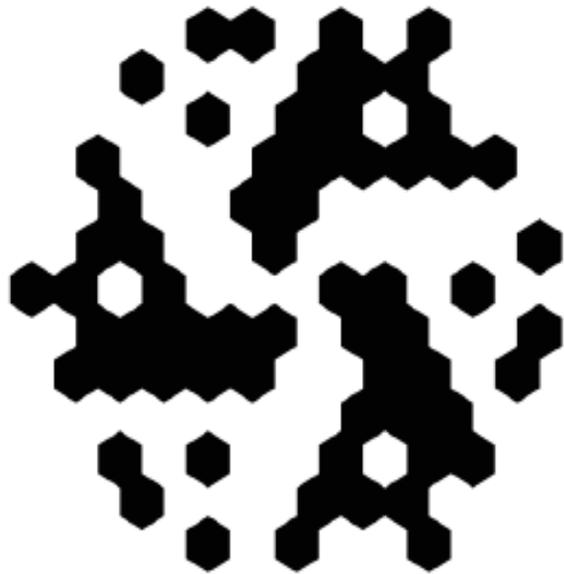
# ピンホールコリメータ方式に基づく「ガンマカメラ」

- 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(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)



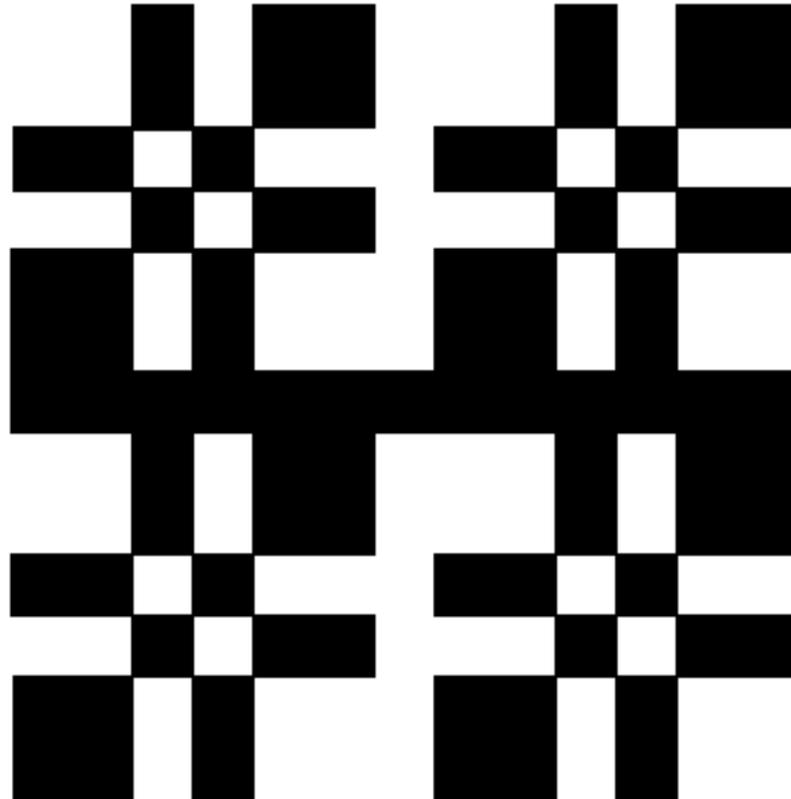
# 符号化多孔窓 (Coded Aperture) の例

- Hexagonal Uniformly Redundant Array (HURA)

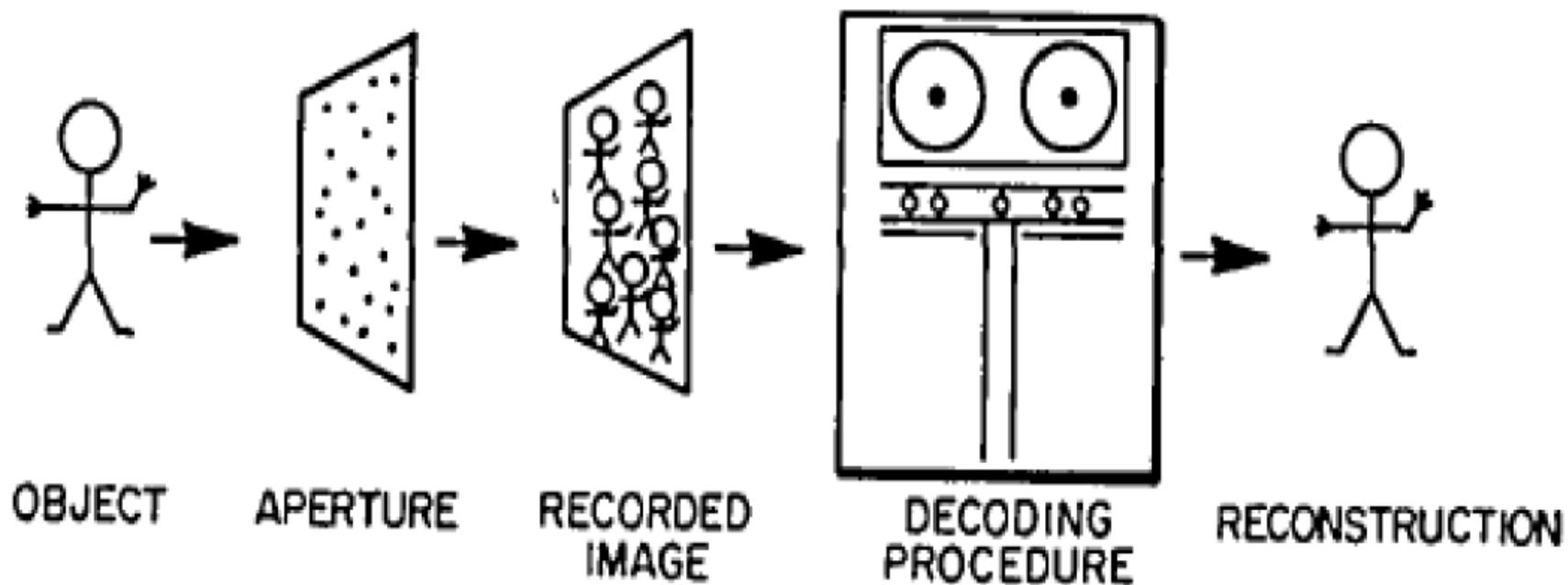


# 符号化多孔窓 (Coded Aperture) の例

- MURA Modified Uniformly Redundant Array



# 符号化多孔窓 (Coded Aperture) による画像の重ね合わせ



# ピンホールコリメータと符号化多孔窓 (Coded Aperture)による光学像の比較

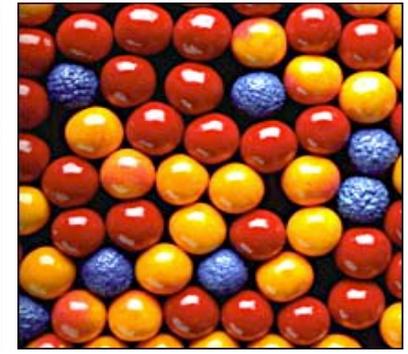
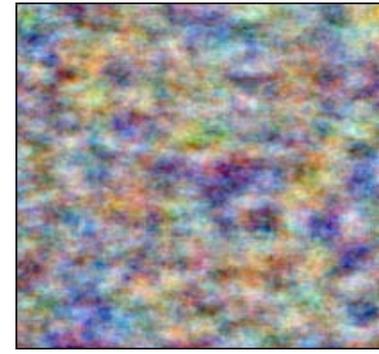
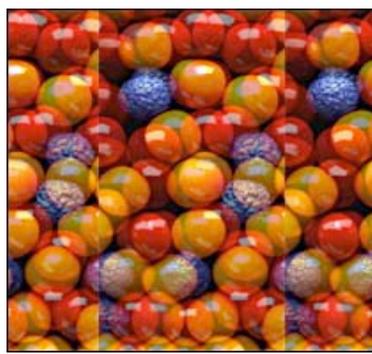
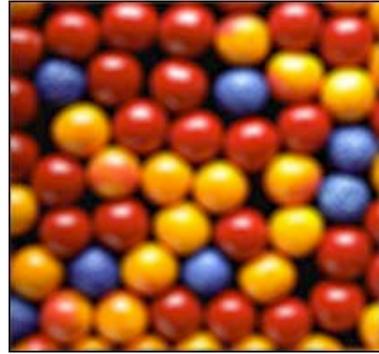
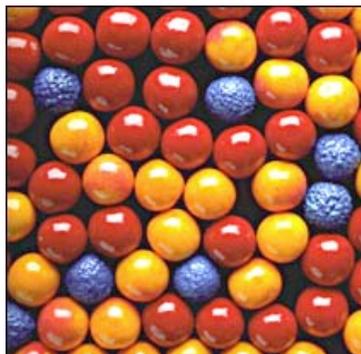
実際の物体

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

# 符号化多孔窓 (Coded Aperture) を 利用した研究分野の例

- 光学分野 (カメラ) : レンズによる収束が可能
- エックス線天文学 (早川幸男)  
銀河系からの高エネルギーX線  
微弱な平行光線  
すだれコリメータ (小田稔)
- 甲状腺の核医学診断に応用する試み

# 開発したD. Prendergast博士 Innovative Physics Ltd



# セシウムカメラ

光学カメラ

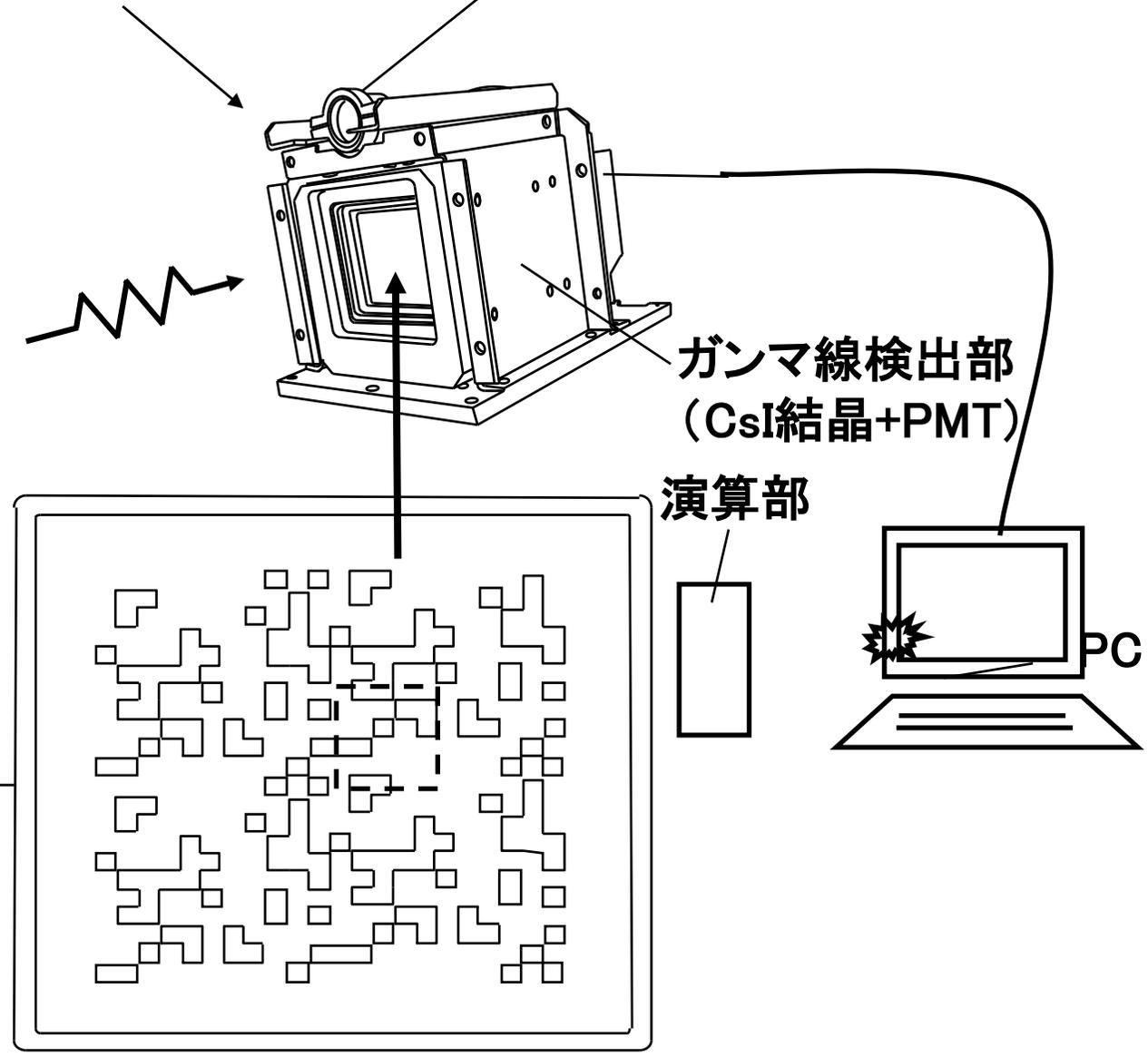
放射線源

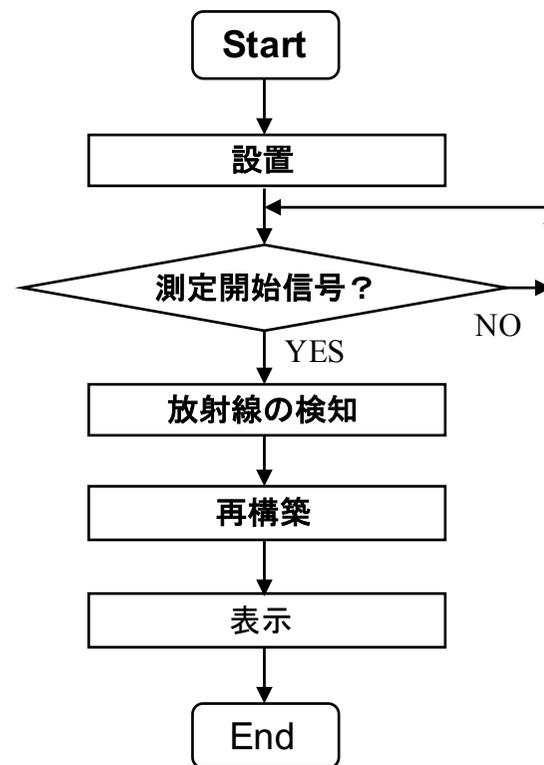
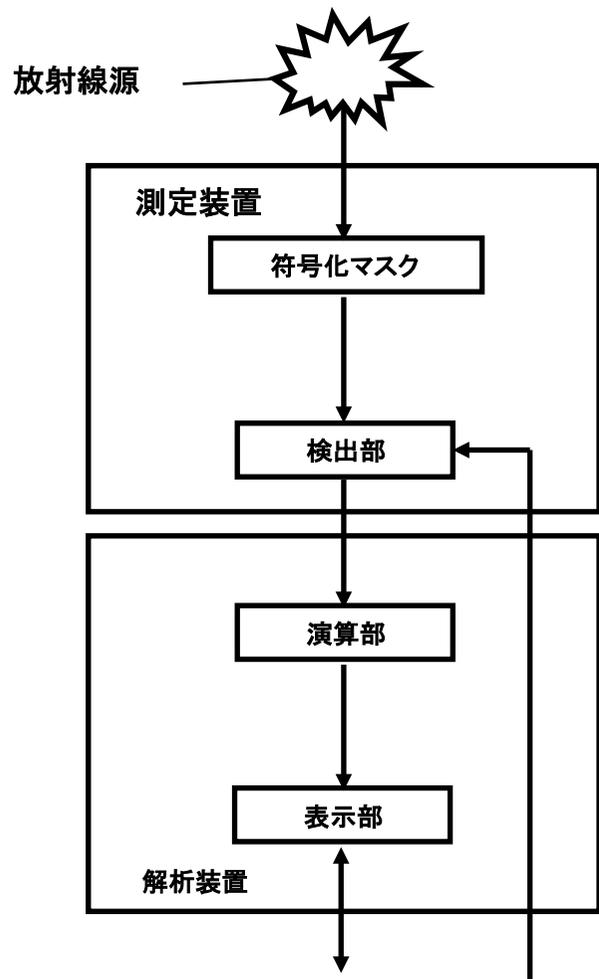
ガンマ線検出部  
(CsI結晶+PMT)

演算部

PC

符号化多孔窓





# 装置の組み立て



# 野外でセシウムグラフを撮像



# 「セシウムカメラ<sup>®</sup>」の外観(特許申請中)



# 実証試験の例 (富岡町のホットスポット)



1mの距離で $4.5\mu\text{Sv/h}$  (BGD  $1.5\mu\text{Sv/h}$ )  
実質 $3\mu\text{Sv/h}$  →線源 $10\text{MBq}$  Cs137+ $5\text{MBq}$  Cs134



# 「セシウムカメラ<sup>®</sup>」を設置（線源から5m）



HSL Control Panel

Setup Settings Data Logging Replay Image

Log Date: 09/08/2013  
Log Time: 10:01:20

00:00:01

Start Capture

Video:  ON

Gamma:  ON

Status:  
Replay Paused

Average cps:  
0

Total Counts:  
0

GPS Location:  
N/A  
N/A

Temp: 30.2 'C  
Humidity: 71 % RH  
Pressure: 1004 mbar



Threshold (cps) Distance (m)

50 - 10+ -

38 - 8 -

25 - 6 -

12 - 4 -

0 - 2 -

0 - 0 -

5m

X1

# 撮像例 (距離5mの位置で30秒間)

BGD  $1.5\mu\text{Sv/h}$  装置の表面  $0.18\mu\text{Sv/h}$

The screenshot displays the HSL Control Panel software interface. The main window shows a video capture in progress, with a heatmap overlay indicating radiation levels. The heatmap shows a high concentration of radiation (red/yellow) near the device being captured, and a lower concentration (green/blue) further away. The interface includes various controls and status indicators:

- Log Date:** 09/08/2013
- Log Time:** 10:01:20
- Start Capture** button
- Video:** ON
- Gamma:** ON
- Status:** Replay Paused
- Average cps:** 134
- Total Counts:** 4306
- GPS Location:** N/A
- Temp:** 30.2 °C
- Humidity:** 71 % RH
- Pressure:** 1004 mbar

On the right side, there are two vertical sliders for **Threshold (cps)** and **Distance (m)**. The Threshold slider is set to approximately 27 cps, and the Distance slider is set to approximately 5 m. A color scale legend is provided for the heatmap, ranging from 0 (blue) to 50 (red).

# 撮像例(距離20mで10分間)

BGD1.5 $\mu$ Sv/h 装置の表面 0.01 $\mu$ Sv/h

The screenshot displays the HSL Control Panel software interface. The main window shows a video capture of a white building with a radiation heatmap overlay. The heatmap uses a color scale from blue (low) to red (high) to indicate radiation levels. A vertical color bar on the right side of the interface provides a legend for the heatmap, with 'Threshold (cps)' on the left and 'Distance (m)' on the right. The 'Threshold (cps)' scale ranges from 0 to 21, and the 'Distance (m)' scale ranges from 0 to 10+.

Key interface elements include:

- Menu: Setup, Settings, Data Logging, Replay, Image
- Log Date: 09/08/2013
- Log Time: 12:20:02
- Time: 00:09:58
- Buttons: Start Capture, Video: ON, Gamma: ON
- Status: Replay Paused
- Average cps: 101
- Total Counts: 60458
- GPS Location: N 37.3182, E 141.0084
- Temp: 38.7 °C
- Humidity: 47 % RH
- Pressure: 1003 mbar

On the right side, there are two vertical sliders: 'Threshold (cps)' with a value of approximately 15, and 'Distance (m)' with a value of approximately 5. A color bar legend is positioned between these sliders, showing a gradient from blue at the bottom to red at the top. A '5 m' scale bar is located at the bottom right of the interface.

# 本宮市の住宅で除染前後を比較



# 本宮市の仮置き場で実証試験



# 「セシウムカメラ<sup>®</sup>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45°
- 角度分解能: 10° 以下
- 検出感度: 900 cps/ $\mu$ Sv/h
- 測定時間: 6分以下(線源強さと距離による)
- 測定範囲: 0.01~50 $\mu$ Sv/h

# 「セシウムカメラ<sup>®</sup>500」の仕様(その2)

## 2 ビデオカメラ

- 表示解像度: 1240 × 768
- 撮像間隔: 毎秒6フレーム以上
- 視野角: 約45°
- PC画面でカラーと白黒の映像切替え可

## 3 表示部

- ノートPCの表示部に専用ソフトウェアで表示
- タブレット端末を選択することが可能
- 接続方式: USBケーブル接続、無線送信も可能
- 測定位置: USB GPSユニットで緯度経度出力
- 表示言語: 英語→日本語に改良

# 「セシウムカメラ<sup>®</sup>500」の仕様(その3)

## 4 機械的仕様

- 最大寸法: 275 × 204 × 290 mm
- ケーブル長: 5m (PCに無線送信可能)
- 重量: 23 kg → 20kg以下に改良

## 5 電気的仕様

- 電源: リチウム充電式電池
- 充電: 主電源および自動車から供給
- 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)

# セシウムカメラ<sup>®</sup>の課題

- ビデオカメラをガンマ線検出器の中心に設置して視差をなくすること
- 線源(ホットスポット)までの距離を測定してセシウム134、137の強度と相関をつけること
- 従来の1m高さにおける空間線量測定値との相関をつけること
- 量産による価格の引き下げ
- 除染ガイドライン(次期改訂版)への掲載

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

- 線源までの距離測定による補正 (双眼鏡型)
- 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核種を同定  
→ 除染以外の場に応用 (海底探査、廃炉、  
テロ対策など)