

見えない放射能汚染を “見える化”する新技術の実証

佐藤 優樹

廃炉環境国際共同研究センター (CLADS)

放射線デジタルグループ

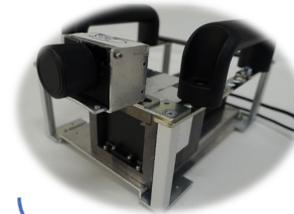
作業者の
被ばく低減

作業現場の
効果的な除染・遮蔽

デブリ取り出しの支援
※アクセスルートの確保等

●これまでのご報告内容

放射線“見える化”カメラ
(コンプトンカメラ)



サーベイメータ



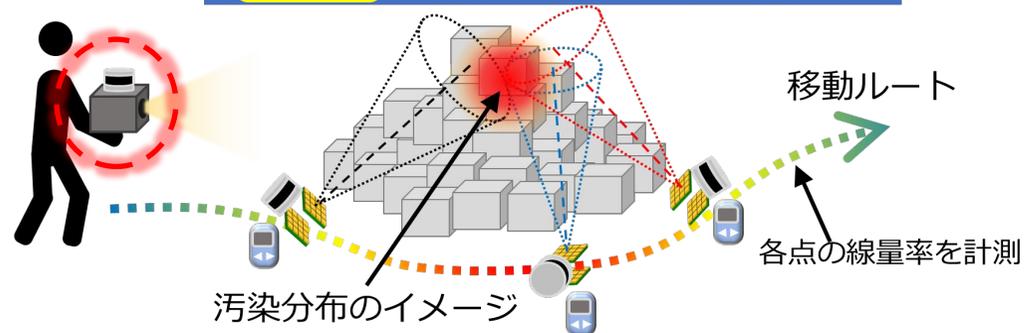
3次元測域センサ



新システムを携帯したオペレータが
現場を移動スキャン

統合型放射線イメージングシステム
IRIS : integrated Radiation Imaging System

汚染箇所や空間線量率を可視化した
3次元マップ



- 測域センサ：自己位置・姿勢の推定および周辺環境の3次元地図生成
- コンプトンカメラ：汚染分布のイメージを生成
- サーベイメータ：歩行ルート上の線量率データを取得

作業者の
被ばく低減

作業現場の
効果的な除染・遮蔽

デブリ取り出しの支援
※アクセスルートの確保等

●これまでのご報告内容

新システムを携帯したオペレータが
現場を移動スキャン



汚染箇所や空間線量率を可視化した
3次元マップ

(セットアップ例)
ハンディタイプ

私 (提案者)

iRIS

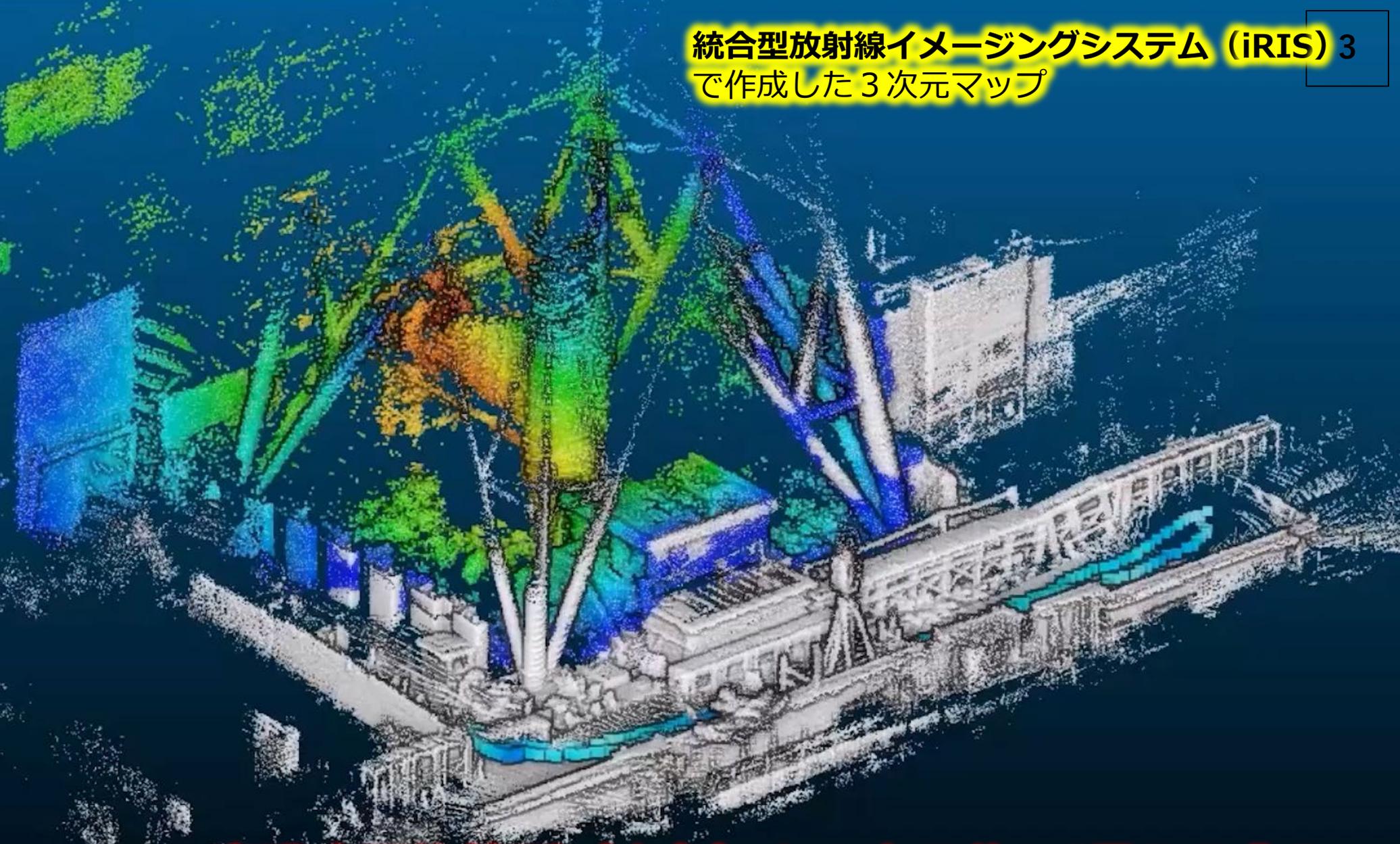
サイズ

高さ:約25cm
幅:約15cm
奥行き:約20cm

放射線デジタルグループ
佐藤 優樹 博士(工学)



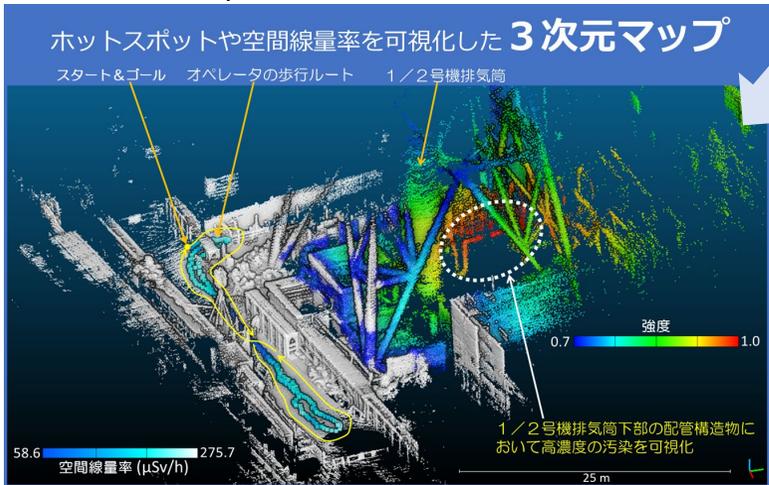
統合型放射線イメージングシステム (iRIS) 3
で作成した3次元マップ



高濃度汚染箇所（赤色）を3次元的に“見える化”

※画像をクリックすると動画が再生されます。

測定場所：1F1/2 号機排気筒付近



ガンマ (γ) 核種

・外部被ばく

アルファ (α) 核種

・内部被ばく

ベータ (β) 核種

・外部被ばく (目の水晶体)

併せて検知・マッピングしたい

γ核種

挑戦①

A) 人が進入できない高線量率エリア

※1の調査 ※1原子炉建屋内部

B) 短時間で高効率の測定

C) より精度の良い可視化

α、β核種

挑戦②

D) α、β核種の可視化技術の確立

E) 1F現場への適用

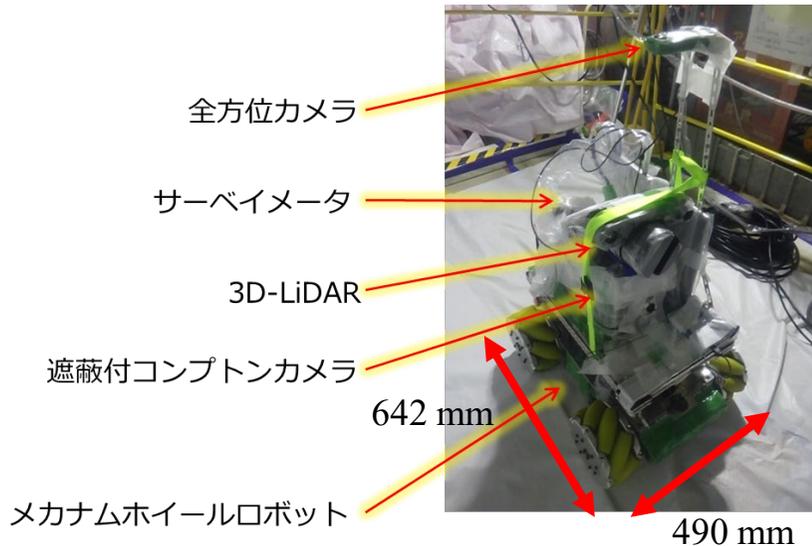
※α計測については次の登壇者 (森下) からご説明

1号機原子炉建屋 1階にてロボット搭載コンプトンカメラによる遠隔イメージングを実施※1

※1 東京電力HDとの共同研究，試験期間：令和5年1～2月

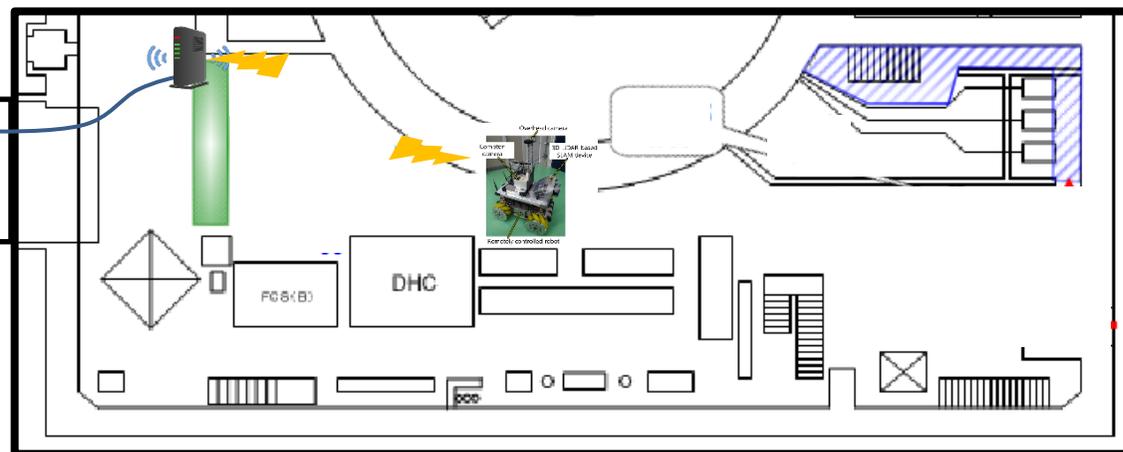
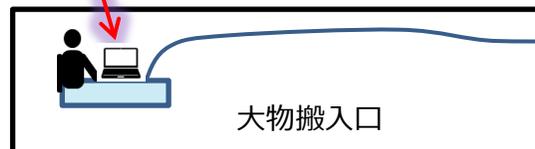


JAEA職員が自らロボット
および測定機器を遠隔操作

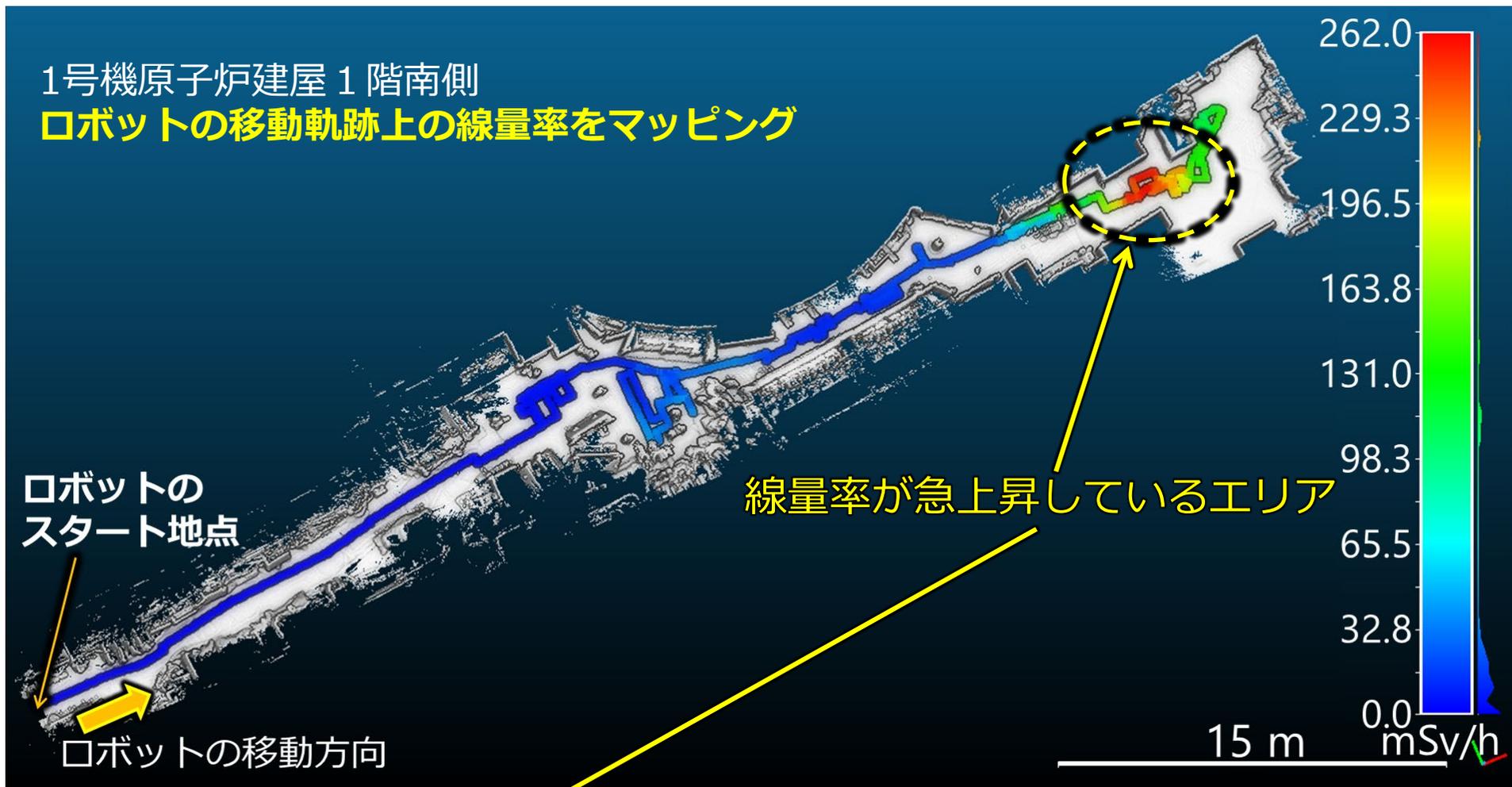


小型&パワフルなロボット
メカナムホイールにより全方向に移動可能

ロボット&コンプトンカメラ操作
の基地局



遠隔操作でロボットを
原子炉建屋内に送り込む

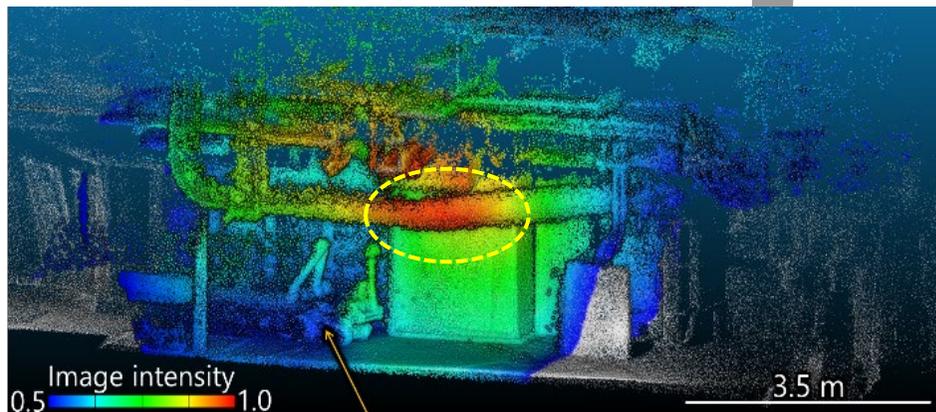


線量率が急上昇しているエリア

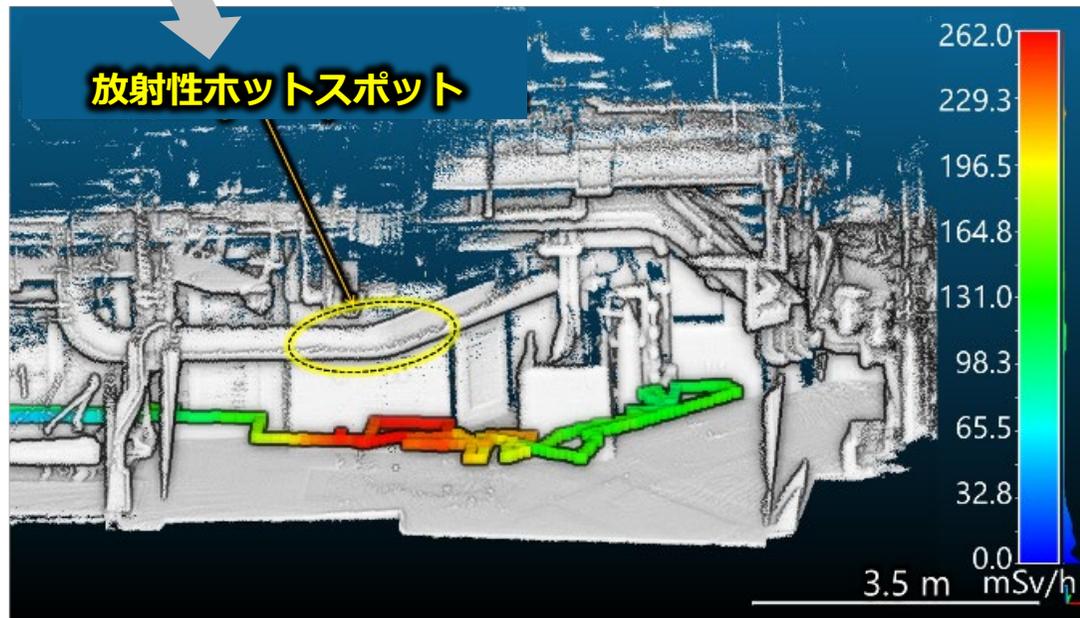
コンプトンカメラを利用して
詳細な汚染箇所特定を実施

線量率マッピング

コンプトンカメライメージ



Artifact
配管上に高濃度汚染を可視化
最大**210 mSv/h**で可視化を実施



配管直下の線量率が上昇

配管上のホットスポットが周囲の線量率を上昇させている

詳細な汚染箇所および線量率上昇の原因特定

未調査エリアへの導入および調査を目指す

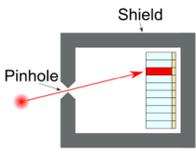
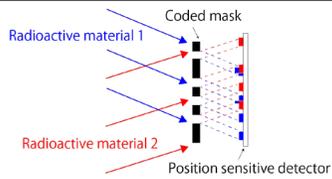
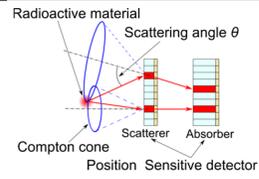
放射線デジタルグループ

北山 佳治 博士（工学）

新しいガンマ線
イメージャの開発



より効率的な測定を目指して

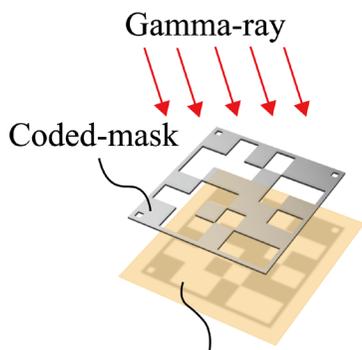
	 <p>ピンホールカメラ</p>	 <p>コーデッドマスク型カメラ</p>	 <p>コンプトンカメラ</p>	 <p>新技術</p>
視野の広さ	△	△	○	○
高線量率環境	○	○	△ ~ ○ (遮へい量により変化)	○
可搬性	×	○	○	○
空間分解能	○	○	△	△ ~ ○

↑
前ページまでの成果
において利用

●従来手法の原理 (コーデッドマスクカメラ)

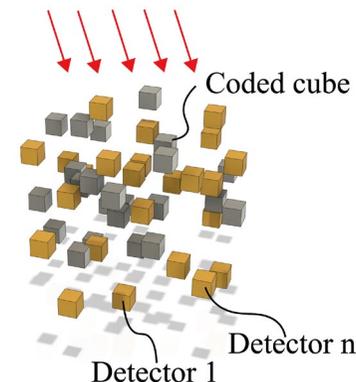


影の方向から太陽の位置を推定できる



影の形状から放射線源の位置を推定する

●新手法の原理 (3次元コーデッドマスクカメラ)

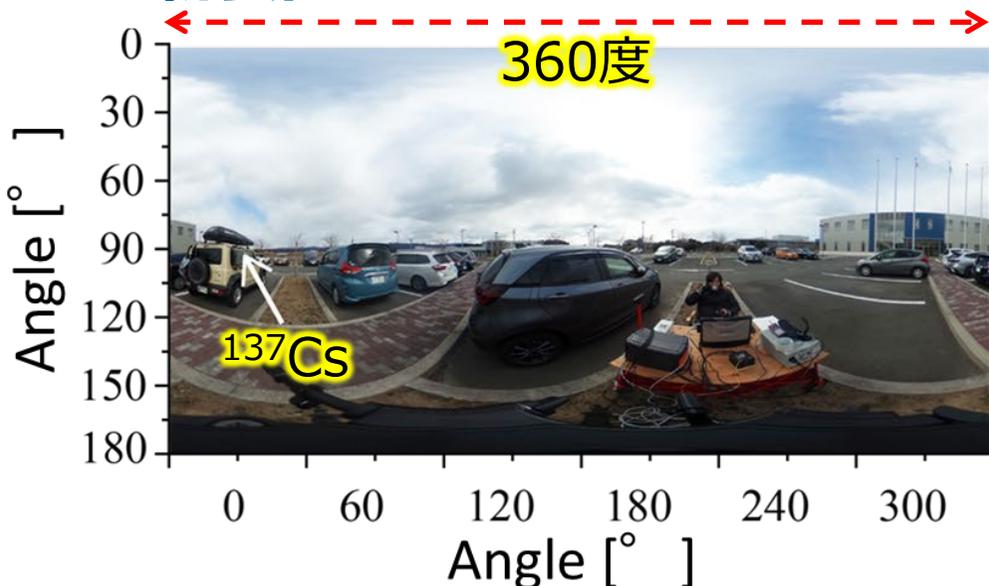


センサピクセルおよび遮へいブロックを3次的に配置

3次的な**“影の出来方”**から、放射線源の方向を推定

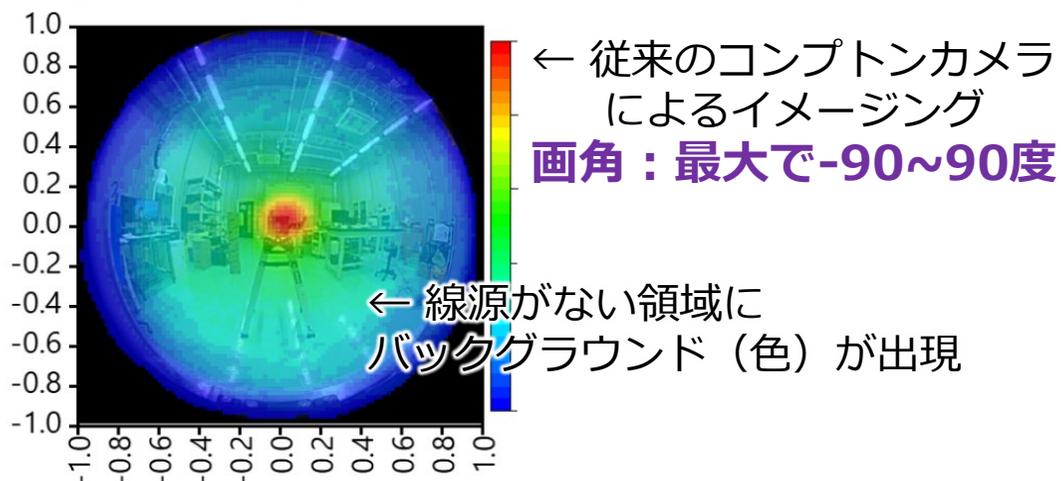
AI (人工知能) の利用

● 新装置



線源がない領域には
バックグラウンド（色）なし

● 他の測定器の例



“全方位”を“高精度”
にイメージング

現場実装に向けた
原理検証を継続

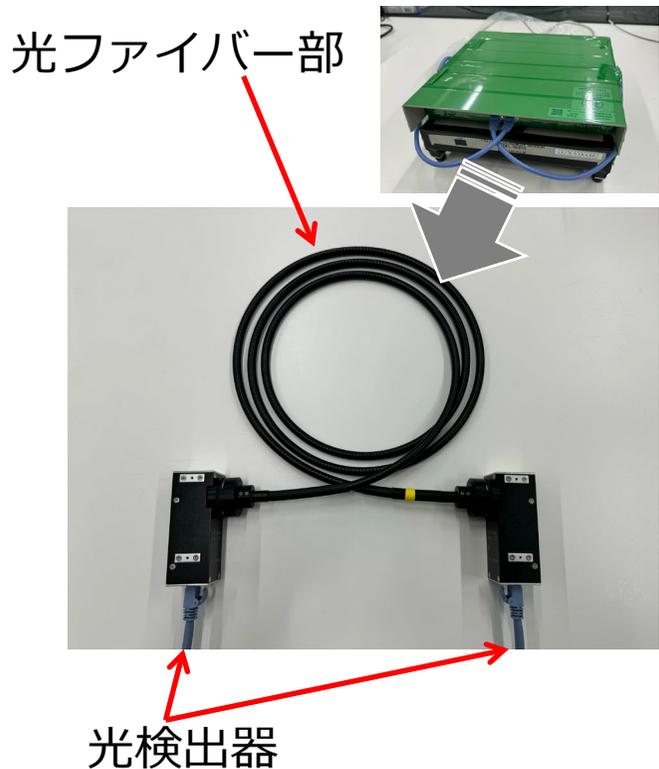
放射線デジタルグループ

寺阪 祐太 博士 (工学)

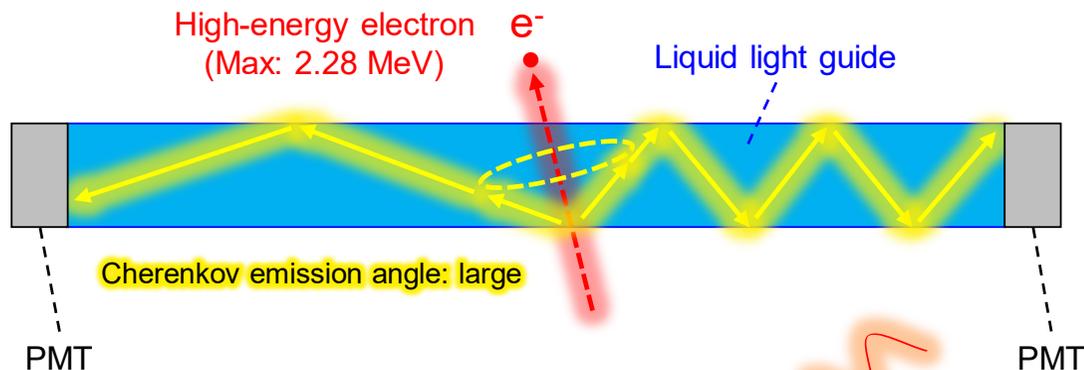
β線放出核種
の可視化技術の開発



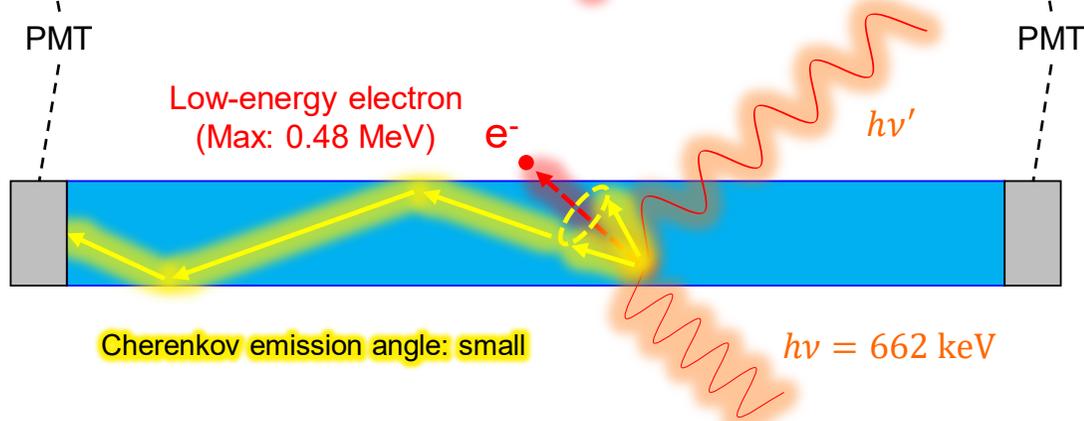
原子炉建屋内のγ線場において、β線を選択的に測定する



β
 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$



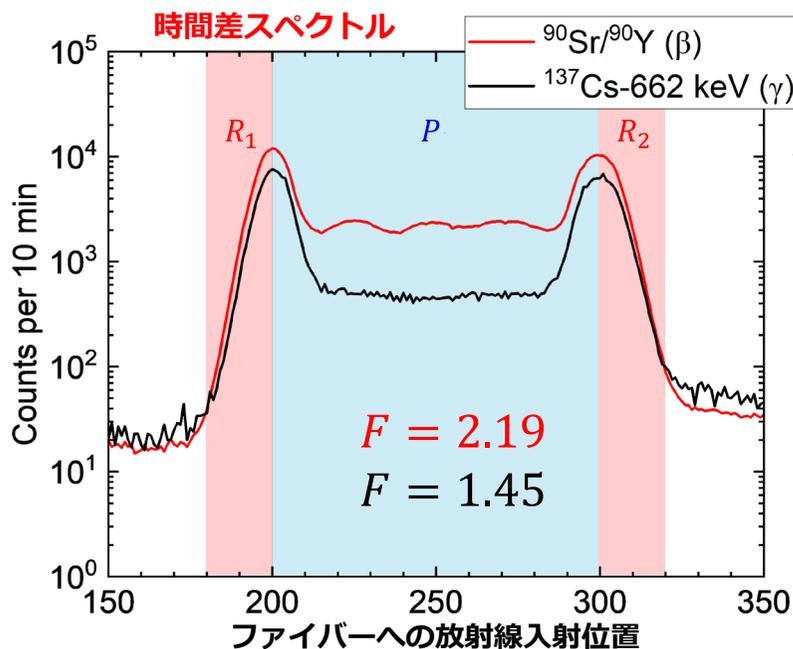
γ
 ^{137}Cs



放射線が入射すると光 (チェレンコフ光) が発生する

β と γ で光の放出方向が変化する

“片端にしか到達しない光 / 両端に到達する光”の比がβとγで異なる



位置計数成分の端面反射成分に対する割合

$$F = \frac{P}{R_1 + R_2}$$

¹³⁷Cs-γのみの場合「F=1.45」



βが存在するとF値が増加

従来手法

スミヤろ紙を後日分析

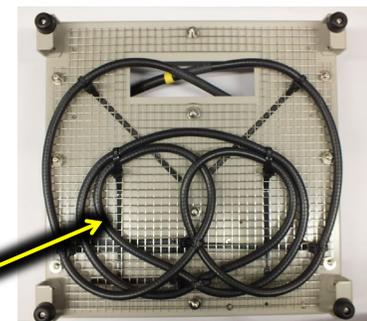


時間がかかる
サンプル数を増やせない



新手法

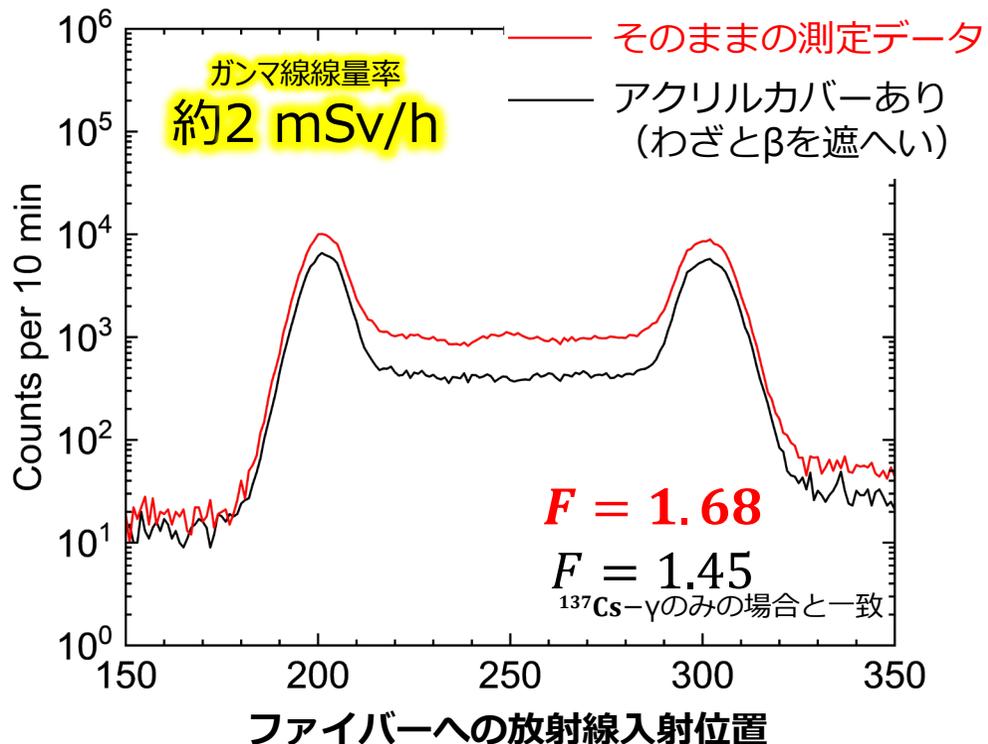
γ線環境でβ核種の存在を
“その場分析”可能



ファイバー部
(有感部)

(製作にあたりクリアパルス(株)と連携)

試験期間：令和6年1~2月



アクリル遮蔽あり： F は662-keVガンマ線による校正値と一致

アクリル遮蔽なし： F の値も増加 → β 線放出核種である $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の存在を示す応答

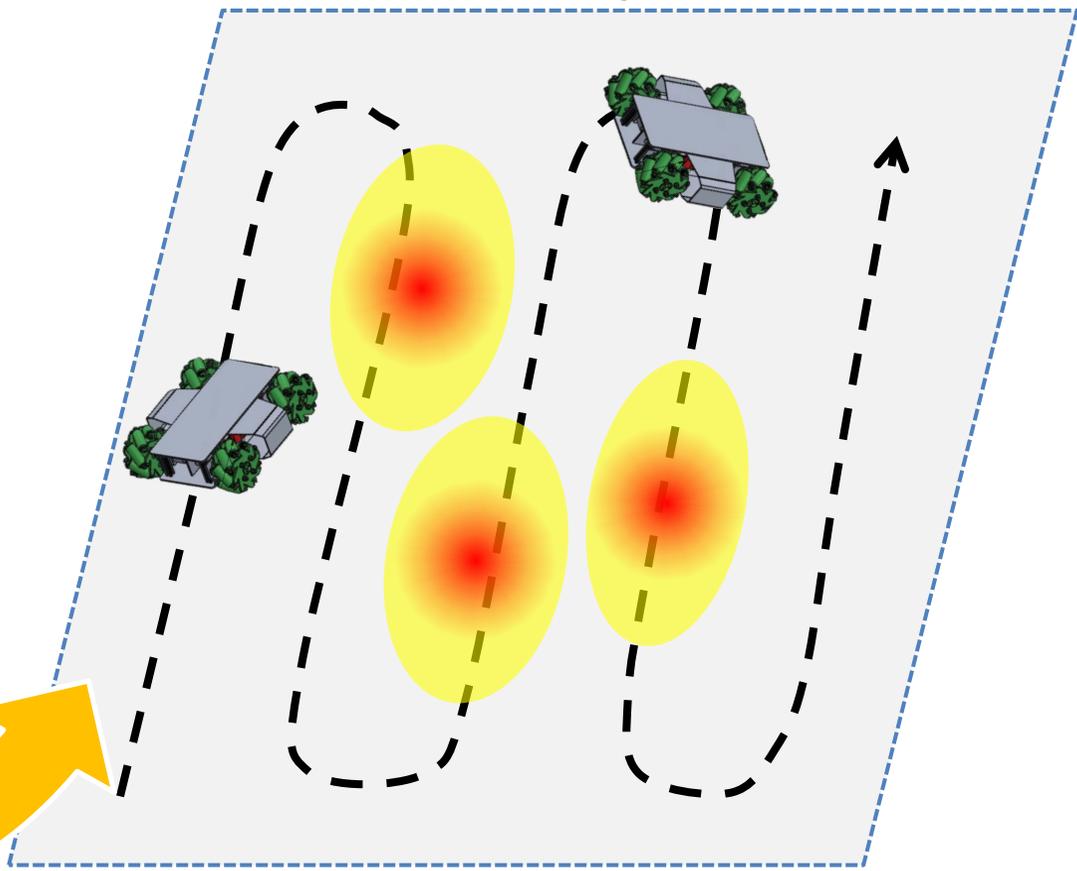


1F原子炉建屋内における $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 「その場・直接」測定に初めて成功

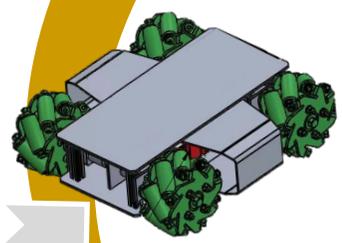
現在：人の手による測定



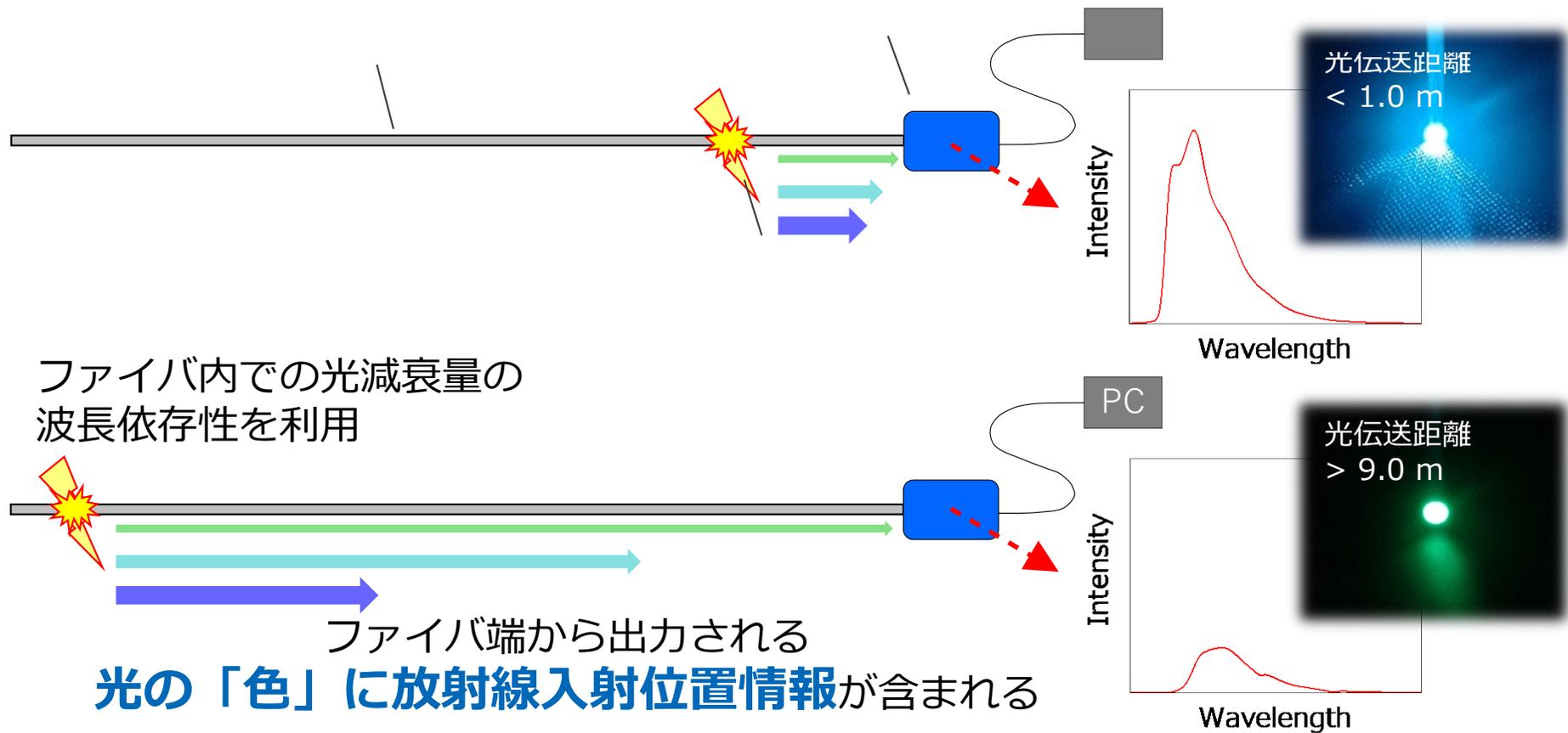
将来：遠隔でのβ汚染マッピング



ロボットと統合



1F原子炉建屋内における **β汚染のフロアマッピングを目指す**

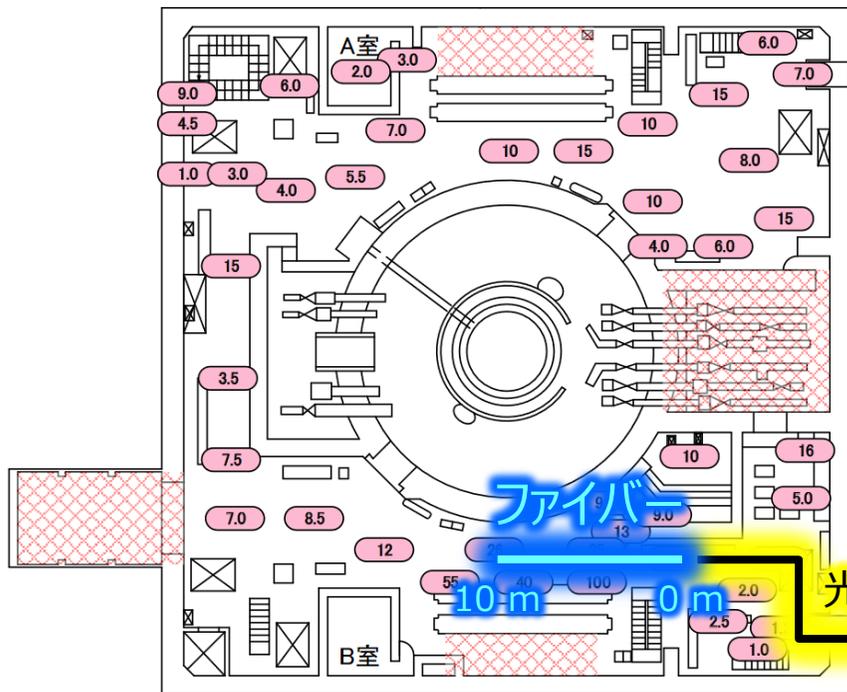


✓ ファイバの片側のみからの光読み出し ⇒ **配管内部**の汚染分布調査など

✓ 光の“積分値”から位置を逆推定 ⇒ **超高線量率対応可** (～数十Gy/h)

3号機原子炉建屋1階

試験期間：令和6年1~2月



光伝送部

分光器



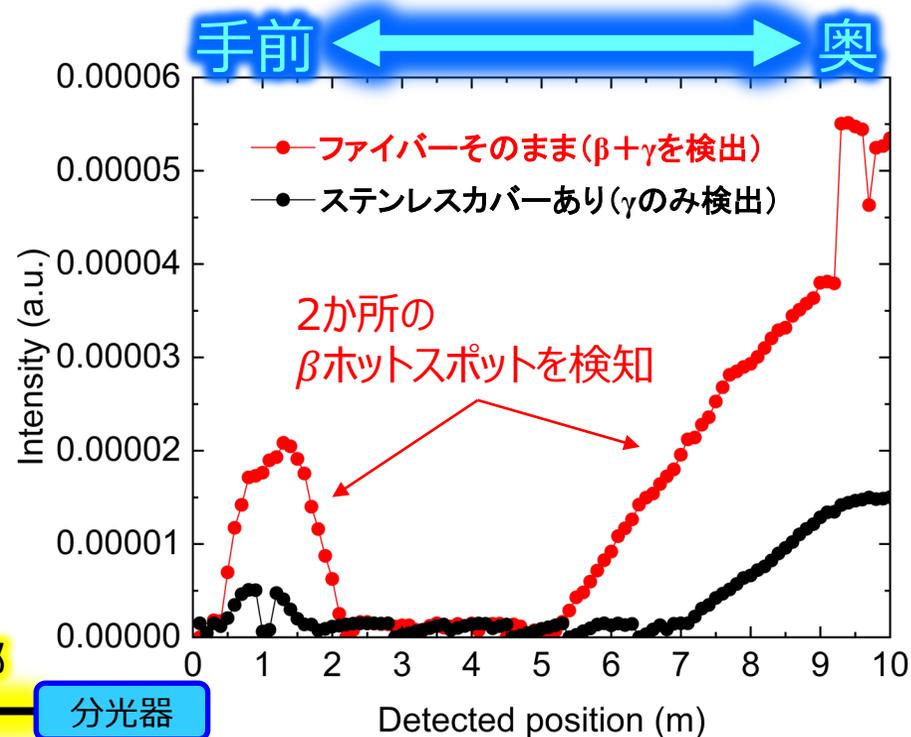
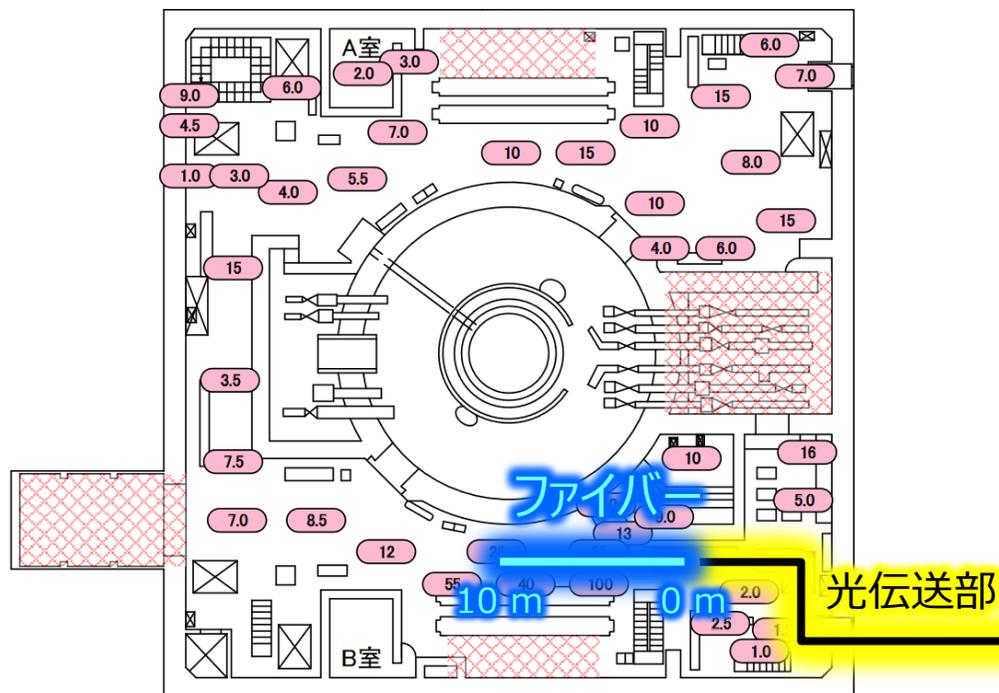
β線の存在を検知するために2本のファイバーを用意

○ ファイバーそのまま (β+γを検出)

○ ステンレスカバーあり (β線が遮へいされγのみ検出)

2本の差分をとる ⇒ β線の寄与のみを抽出可能

3号機原子炉建屋1階



カバーの有無でスペクトル発光強度に5倍程度の差が生じた
⇒ **この差分がβ放出核種 ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) を反映**していると示唆

β線起因のホットスポット検知に成功

メーカーと連携して製品化を視野に入れつつ、現場実証を継続

目的

作業者の
被ばく低減

作業現場の
効果的な除染・遮蔽

デブリ取り出しの支援
※アクセスルート確保等

本プレゼンでは新しい β ・ γ の検知・可視化技術をご紹介します

ガンマ (γ)

- ✓ 1F原子炉建屋内の線量率マッピング
- ✓ 200 mSv/h超における放射性ホットスポット位置の3次元的可視化
- ✓ 全周囲・高分解能を有する新しいイメージャの開発および原理検証

ベータ (β)

- ✓ 1F原子炉建屋内において β 放出核種の「その場・直接」測定に成功
- ✓ β 線由来のホットスポットの検知にも初めて成功

メーカー殿と連携した製品化・社会実装
1Fにおける利活用を目指して性能向上を継続

ご清聴ありがとうございました