

部門報告④

共通基盤技術の現場実装に
係る研究開発



廃炉環境国際共同研究センター
遠隔技術ディビジョン
佐藤 優樹



▼大熊第1棟
運用開始

大熊第
2棟竣工

復興事業全体の
在り方見直し

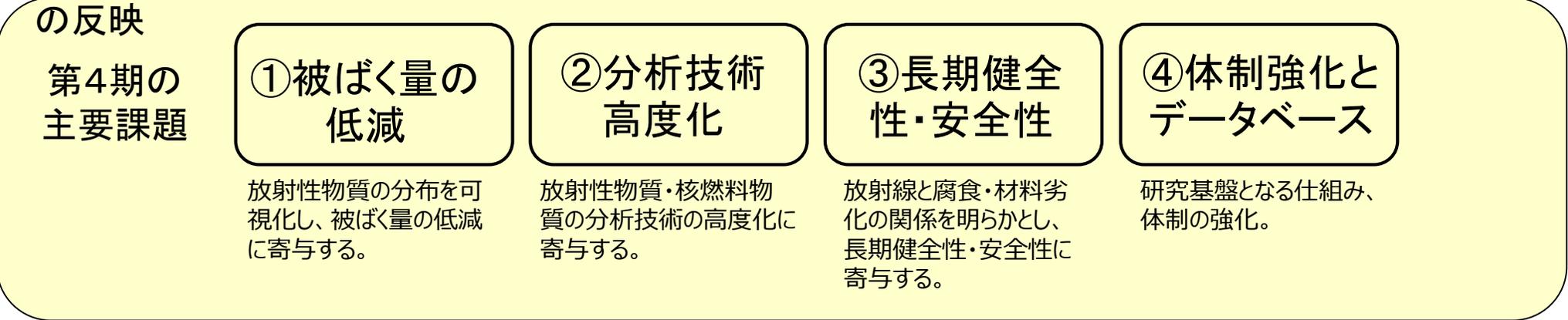
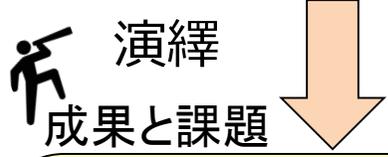
取り出し規模の更なる拡大
(1/3号機)

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

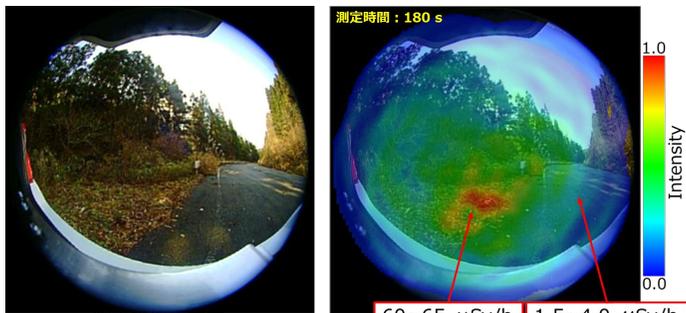
- ◆ 放射線可視化ツールの開発
- ◆ 放射線と材料に関する技術開発
- ◆ CLADS国際研究棟、楢葉センターの竣工、大熊センターの一部竣工
- ◆ 技術基盤マップの構築
- ◆ 国際協力の推進
- **研究成果により、技術基盤構築と研究ハブ構築に寄与。**
- **今後、成果の現場実装に向け、橋渡しの仕組みが課題。**

- 基礎基盤研究の成果が現場で活用され、1F廃炉、環境回復の安全性が向上していることが期待される。**
- 福島第一原子力発電所内の放射性物質分布の可視化データを用いた安全管理
 - トリチウムなどの極低レベル放射性物質の挙動可視化と情報発信
 - 放射性物質分析技術の標準化による、安全確保
 - 長期的な構造健全性や保管安全性に与える放射線影響
 - 放射線関連データベースと、安全安心のための情報発信



放射性物質の分布を**可視化**して
被ばく量を**低減**

ガンマ線放出核種の可視化（外部被ばく）

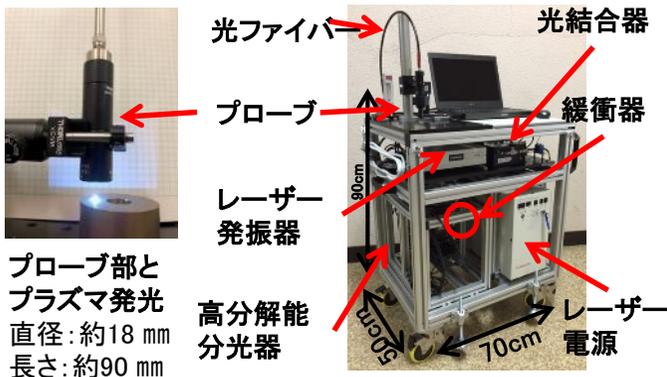


測定現場の写真
ホットスポットを**イメージング可能!!**
(汚染が周囲と比較して高い領域)

放射性物質・核燃料物質の 分析技術の高度化

レーザー光で元素組成を分析する技術

【可搬型LIBS装置】



アルファ線放出核種の可視化（内部被ばく）

超高分解能α線イメージング検出器
厚みの薄いシンチレータを使用することで、プルトニウム粒子から放出されるα線のみをシンチレーション光へと変換。このシンチレーション光を光学顕微鏡を介して CCD カメラで撮像することで、一つ一つのα線をリアルタイムに可視化できる。

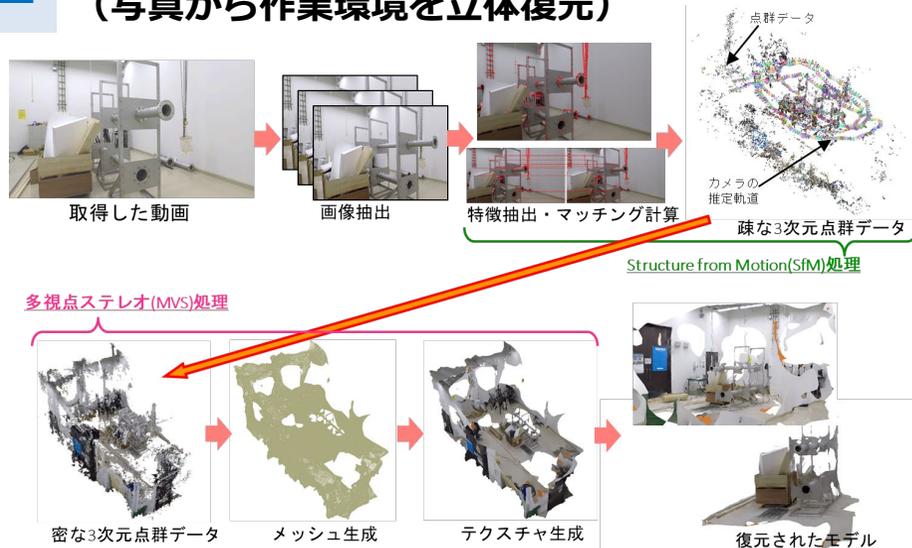
※シンチレーション光（ラテン語の scintilla に由来）：シンチレータ（蛍光物質）に放射線が当たると出てくる光。その特性を利用して、様々な測定に用いられている。

α線の計数率から、プルトニウム粒子の粒子径への換算

$y = 3.84x^{2.78}$

研究基盤

原子炉建屋内における空間構造や状態の把握に向けて （写真から作業環境を立体復元）



放射線は、
目に見えない

放射能汚染の
“見える化”

作業者が
危険箇所を把握

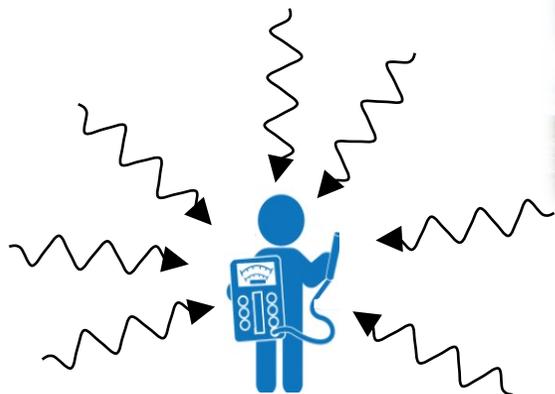
作業者の
被ばく低減

作業現場の
効果的な除染

社会的課題である“福島第一原発廃炉”を進めるために重要なこと
放射線計測・原子力 × 異分野技術

従来（サーベイメータ）

放射線があらゆる方向から飛来



サーベイメータ



注) 写真はイメージです

測定点

測定器の位置
“点”で測定

測定時間の増加に伴う作業員の被ばく

広範囲エリア測定時のホットスポットの見落とし

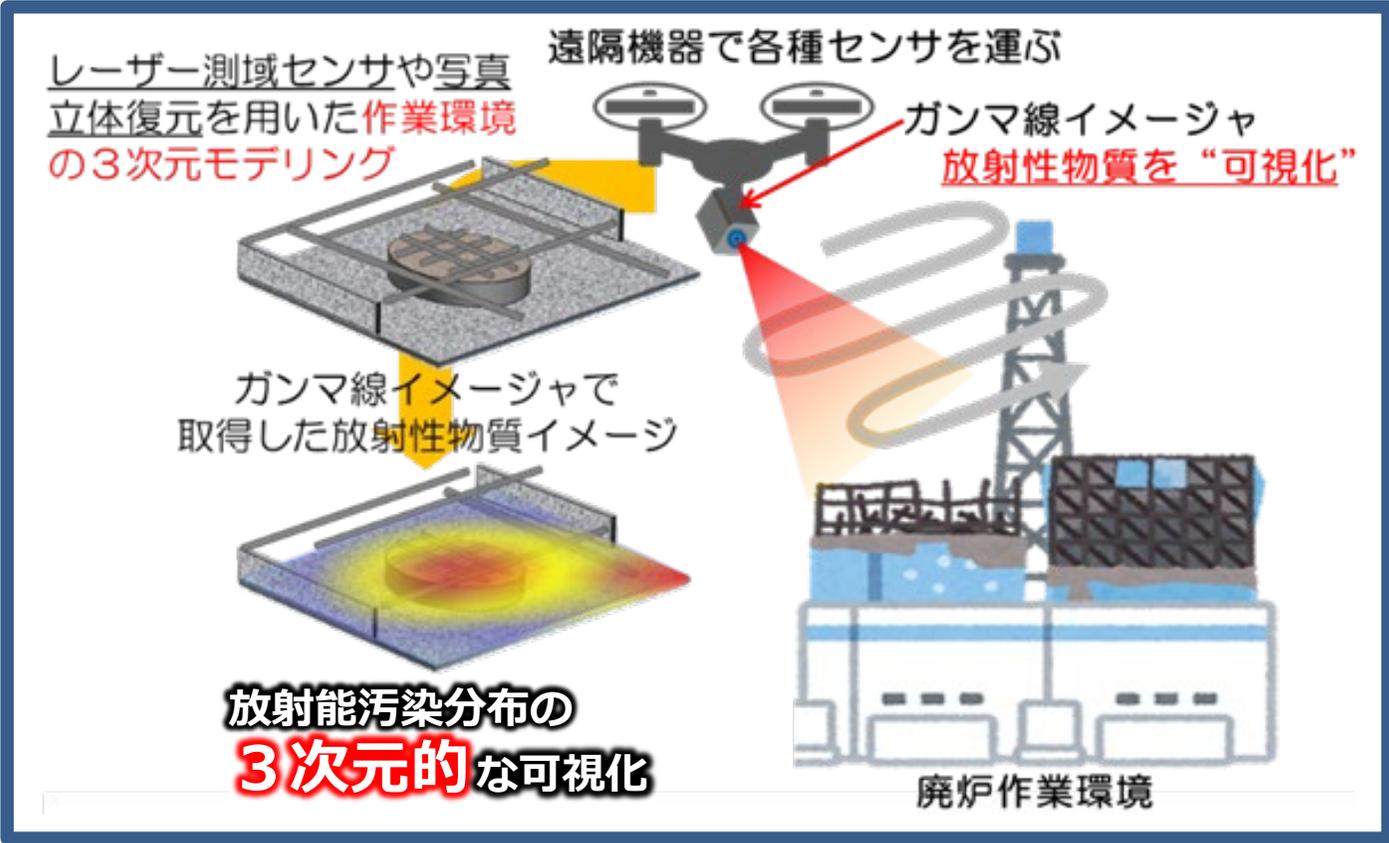
ガンマ線イメージャ

放射能汚染の分布を可視化するカメラ



注) 写真はイメージです

放射性物質の分布を
“面”的に捉える



放射線計測

+

ロボット

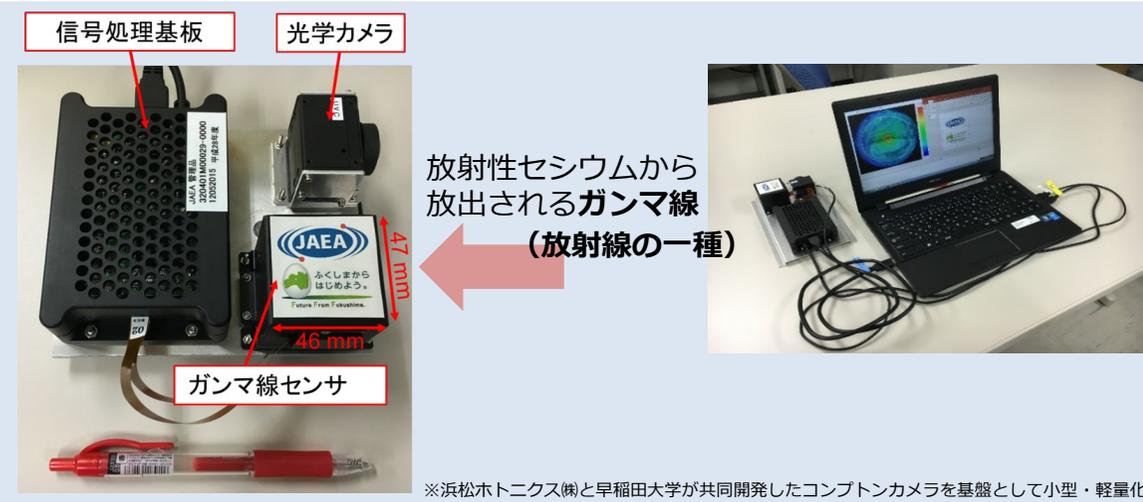
+

3次元モデリング

+

etc...





- 総重量：680 g※
(※1Fで使用するには遮へい装備を施すため、その分の重量が加算される)
- 給電：USBバスパワー
- ノートPC一台で動作

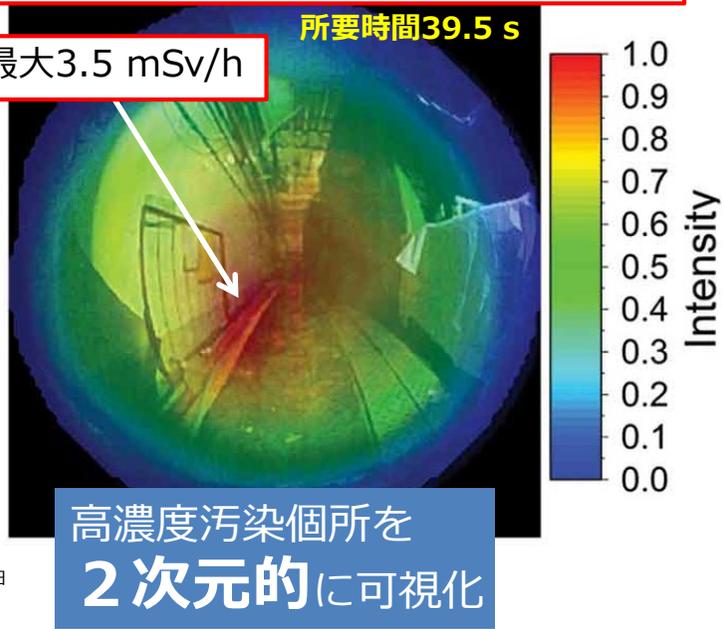
※ホットスポット周辺：0.4~0.5 mSv/h

1F3号機タービン建屋内部での実証試験

タイベック、全面マスク、ゴム手…
 ⇒ 動きにくさ、視界の狭さ、作業の困難さについて、身をもって体験
 ⇒ 装置の優れた可搬性を活かして円滑な測定を可能とした



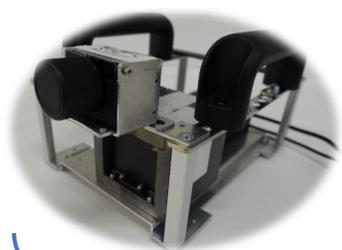
Y. Sato, et. al., Journal of Nuclear Science and Technology, 55巻, 965-970頁, 2018年5月21日



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

コンプトンカメラ



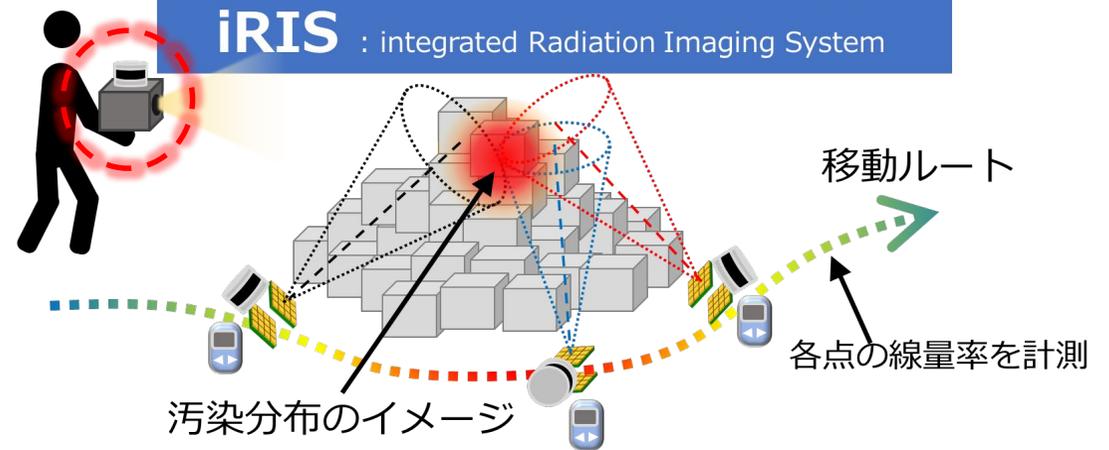
サーベイメータ



3次元測域センサ



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



- 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

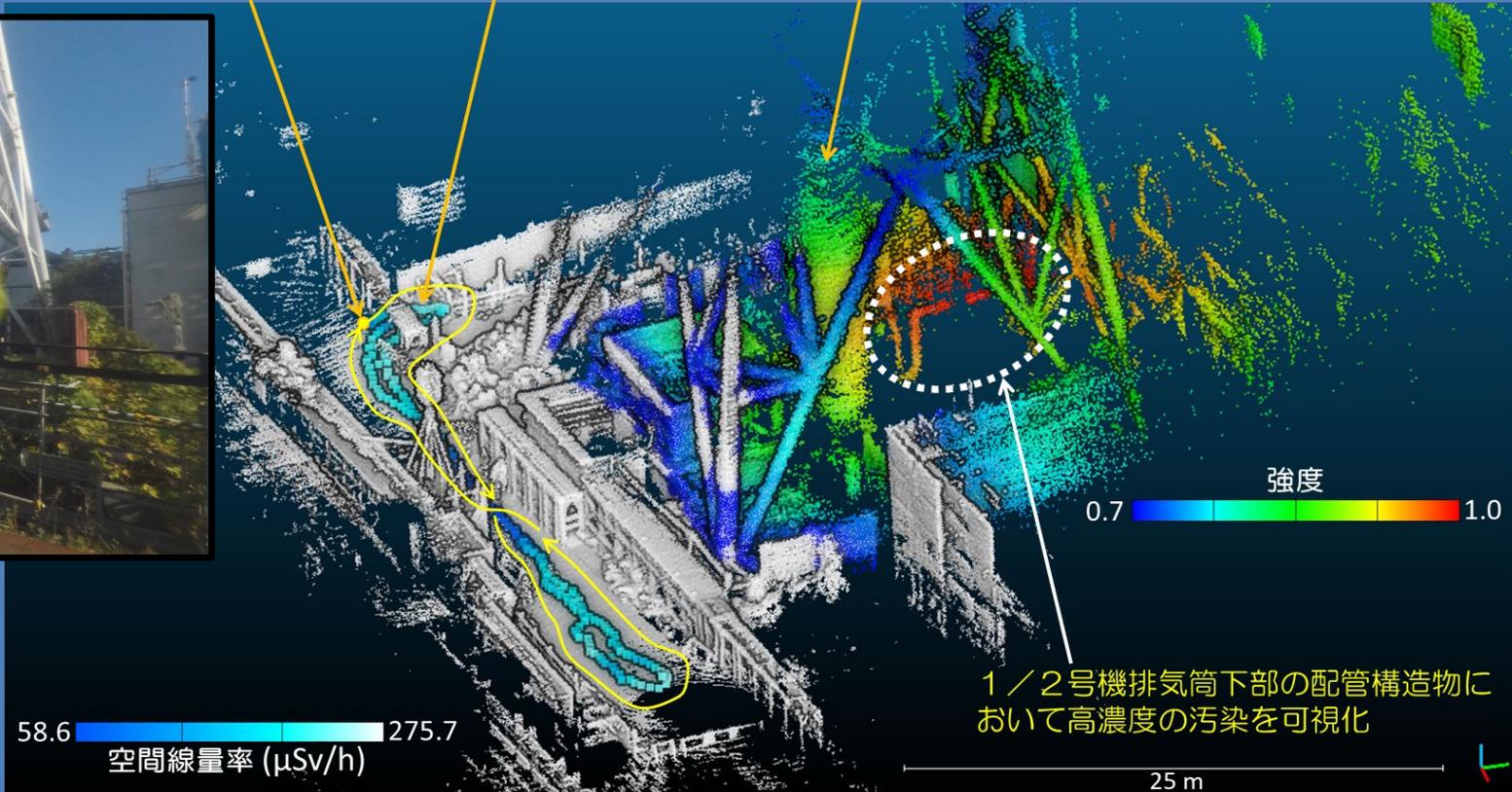
汚染箇所や空間線量率を可視化した 3次元マップ

スタート&ゴール オペレータの歩行ルート 1/2号機排気筒

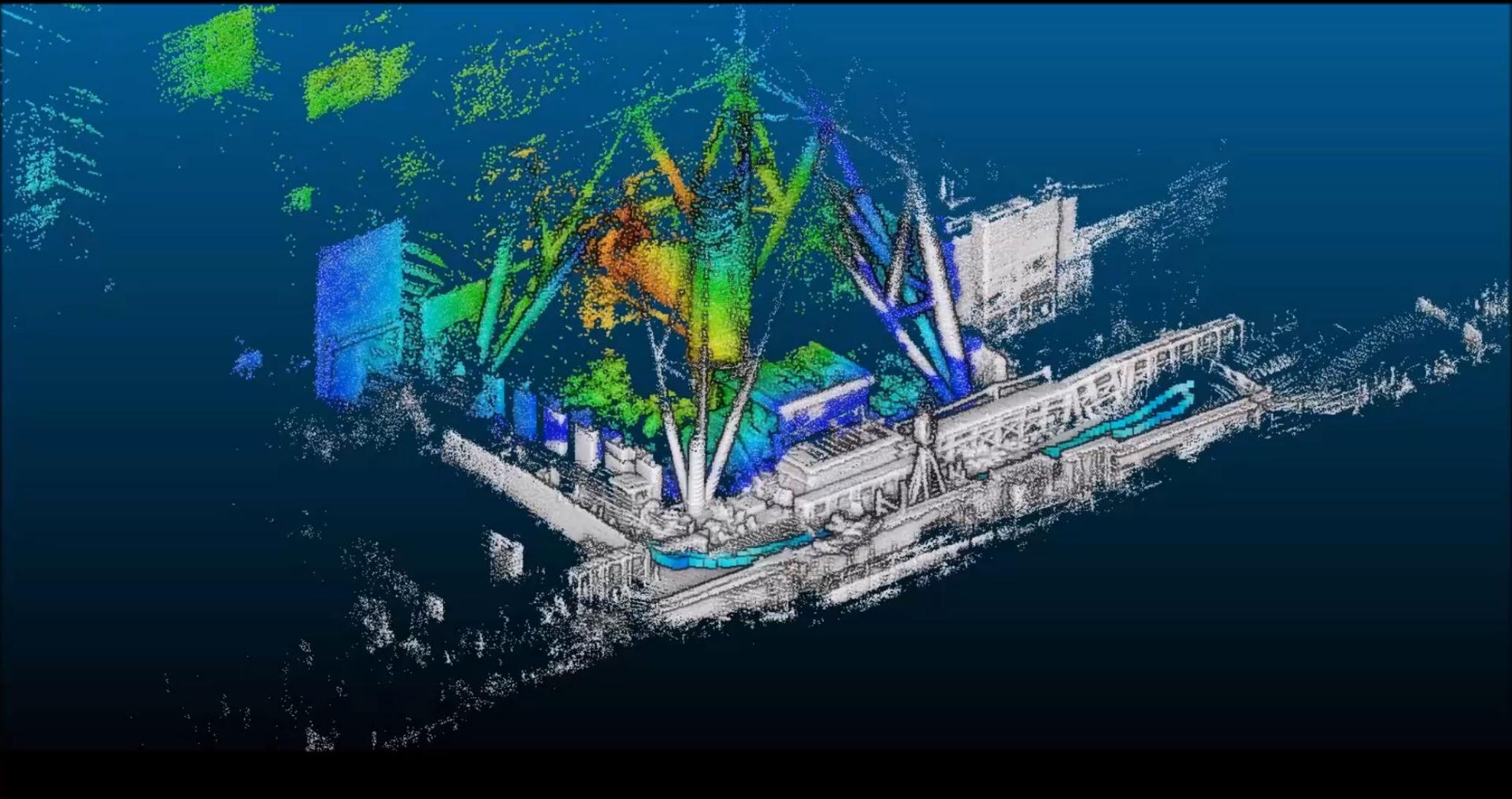


1F1/2号機排気筒

高濃度汚染が報告されていた領域



1/2号機排気筒下部の配管構造物において高濃度の汚染を可視化



1F原子炉建屋内における実証例

LEDライト

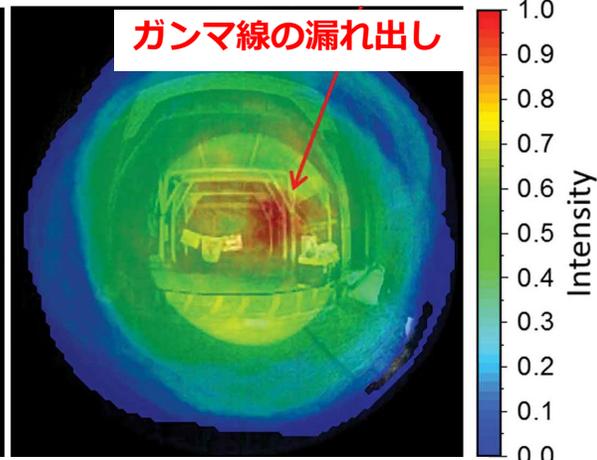
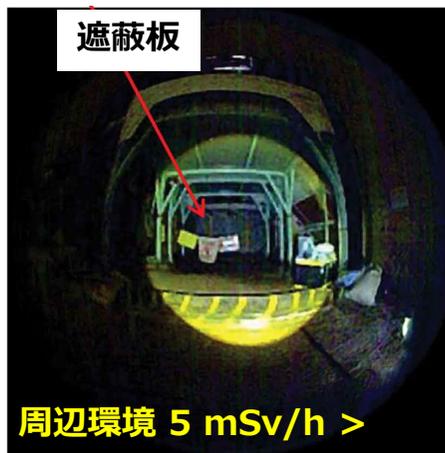
デジカメ

コンプトンカメラ
搭載ロボット

課題：
重量、重心位置、排熱、暗所...

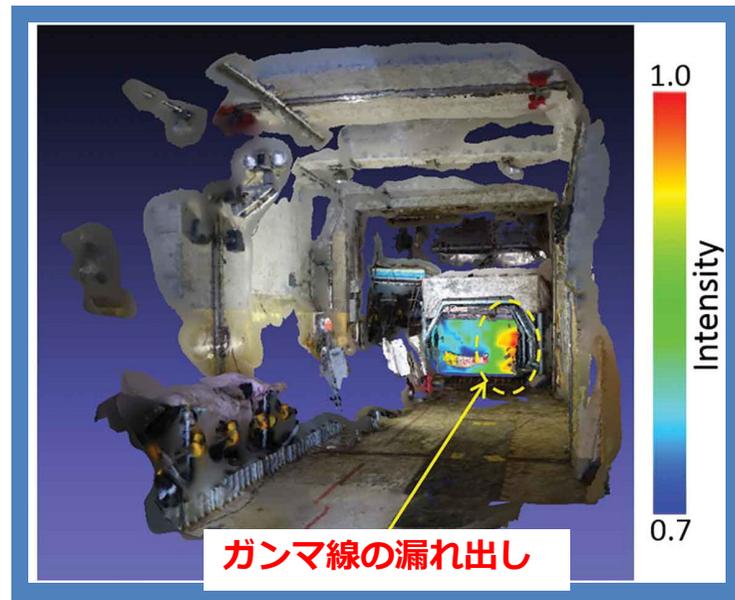
コンプトンカメラ+ロボット
⇒ 遠隔 2次元イメージング

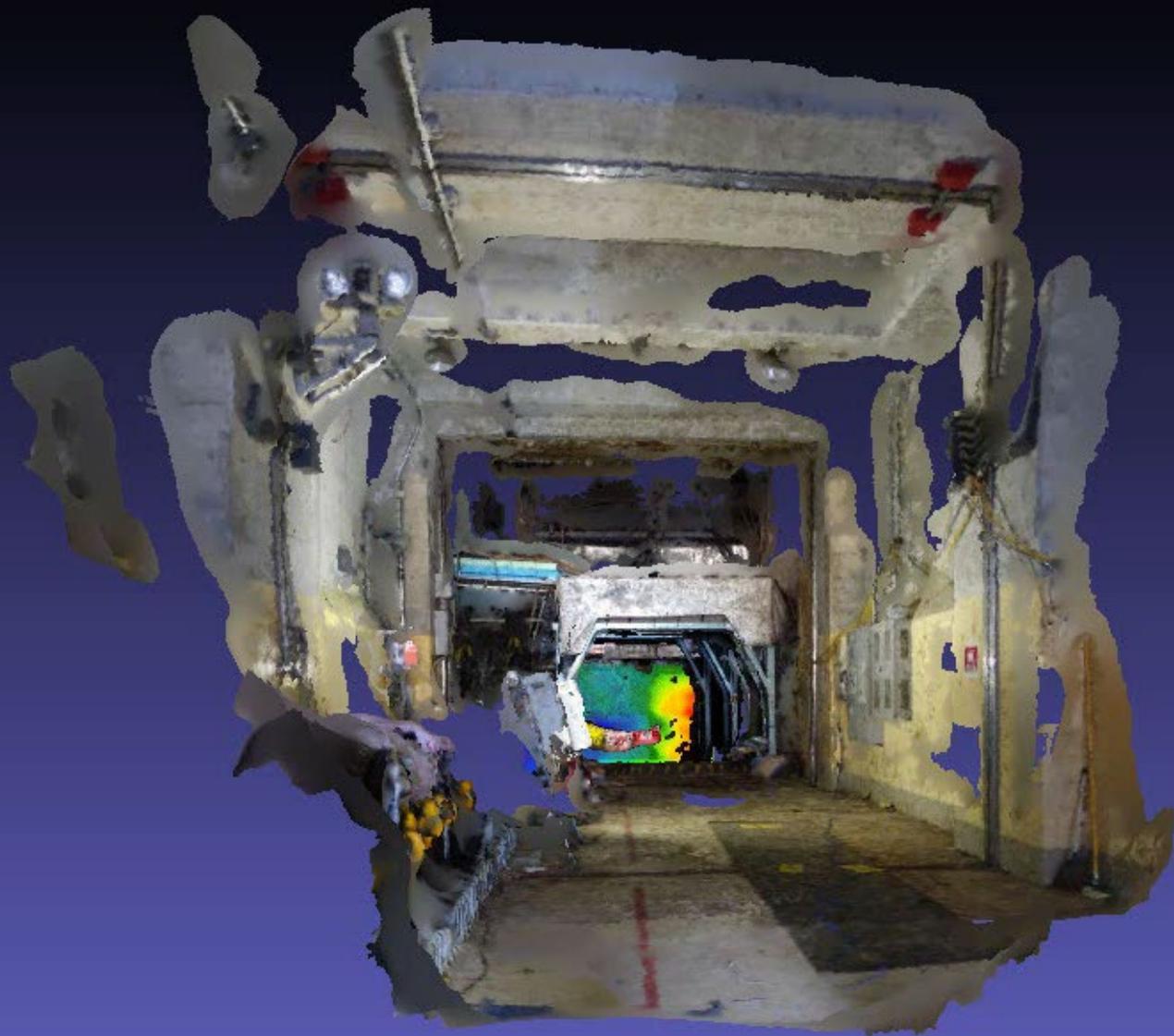
※ 1F1号機原子炉建屋入口付近



コンプトンカメラ+ロボット
+ 環境認識技術 (写真立体復元)
⇒ 遠隔 3次元イメージング

ホットスポットを
遠隔にて 3次的 に可視化





福島イノベーション・コースト構想

福島イノベーション・コースト構想の実現に向けた重点的取組

福島イノベーション・コースト構想とは

福島イノベーション・コースト構想は、東日本大震災及び原子力災害によって失われた道徳的価値の復興を促すため、被災地域の新たな産業基盤の構築を促す国家プロジェクトです。農学、ロボット、エネルギー、農林水産等の分野におけるプロジェクトの連携を進めるとともに、産学連携や人材育成、交流人口の拡大等に取り組んでいます。



大学研究/教育・人材育成 P11-13

● 浜通り地域等の高等学校
企業や高等教育機関等と連携した特色あるキャリア教育を展開。

- トヨタグループ 磐城高校・相馬高校・原町高校
- 工業分野 平工産高校・御東工業高校・川根高校
- 農業分野 磐城農業高校・相馬農業高校

● 浜通り地域等で研究活動等を行っている大学

- 東京大学(磐城町)
- 慶応義塾大学(田村市)
- 東北大学(郡山)
- 早稲田大学(武野町)
- 近畿大学(川俣町) ほか県内外の高等教育機関



東北大学(磐城町)



環境・リサイクル P10

太陽光パネルや石炭灰等の先進的なリサイクル技術開発等の取組を推進



福島エコリサイクル株式会社



東北大学



農林水産 P8-9

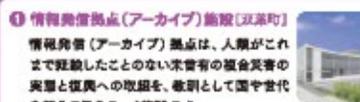
- 1 (仮称)水産海洋研究センター[いわき市]
- 2 (仮称)水産資源研究所[相馬市]
- 3 浜地域農業再生研究センター[南相馬市]

農林水産分野の主な取組

- 1 先端技術等の導入による新しい農産物の推進
- 2 農産物の新たな需要創出など



福島水産資源研究所 仮称水産資源研究所 仮称福島県立水産総合センター



情報発信拠点(アーカイブ)施設(双葉町)

① 情報発信拠点(アーカイブ)施設(双葉町)
情報発信(アーカイブ)拠点は、人類がこれまで経験したことのない未曾有の複合災害の災害と復興への取組を、数則として国や世代を隔てて伝えていく施設です。
◎平成32年度のオープンを目指し、現在整備を進めています。



廃炉研究 P2-3

- 1 福島県立技術開発センター[相馬町]
- 2 廃炉国家共同研究センター[宮内町]
- 3 大規模分析・研究センター[大熊町]



福島県立技術開発センター 廃炉国家共同研究センター 大規模分析・研究センター



ロボット P4-5

- 1 福島ロボットテストフィールド(南相馬市・浪江町)



福島ロボットテストフィールド



エネルギー P6-7

- 1 再エネ由来大規模水素製造実証拠点[浪江町]
- 2 天然ガス(LNG)火力発電[磐前町]
- 3 高効率石炭火力発電(IGCC)[いわき市・成野町]
- 4 浮体式洋上風力発電設備(双葉郡沖)
- 5 循環バイオマス・エネルギー実証施設[南相馬市]
- 6 沿岸部・阿武隈地域北用送電線による再エネ導入エリア



再エネ由来大規模水素製造実証拠点(イワサキ) JAR REACTOR-GALAXY

(株)千代田テクノと共同開発



コンプトンカメラ
(千代田テクノ社製
"ガンマキャッチャー"と同仕様)

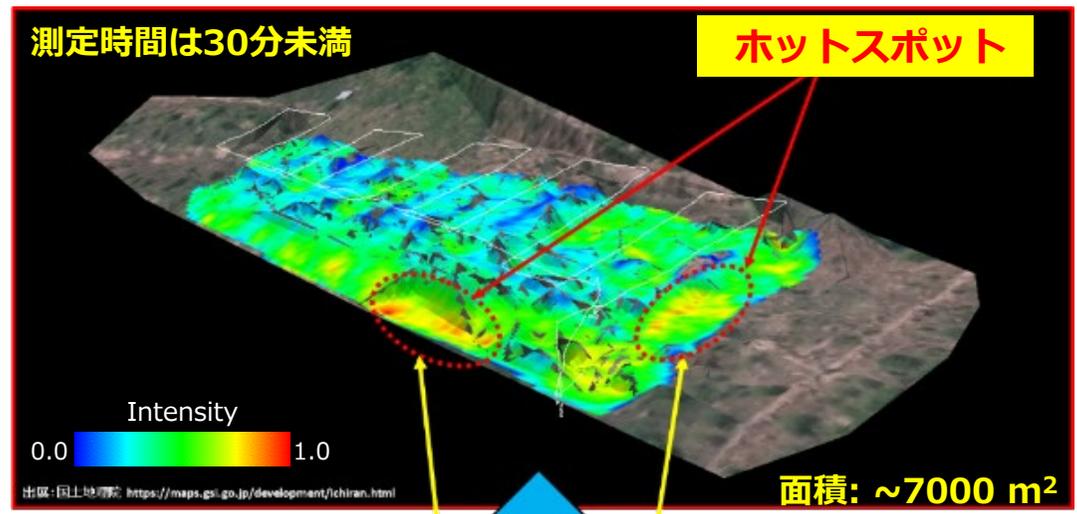


3次元地形モデル + 航空写真

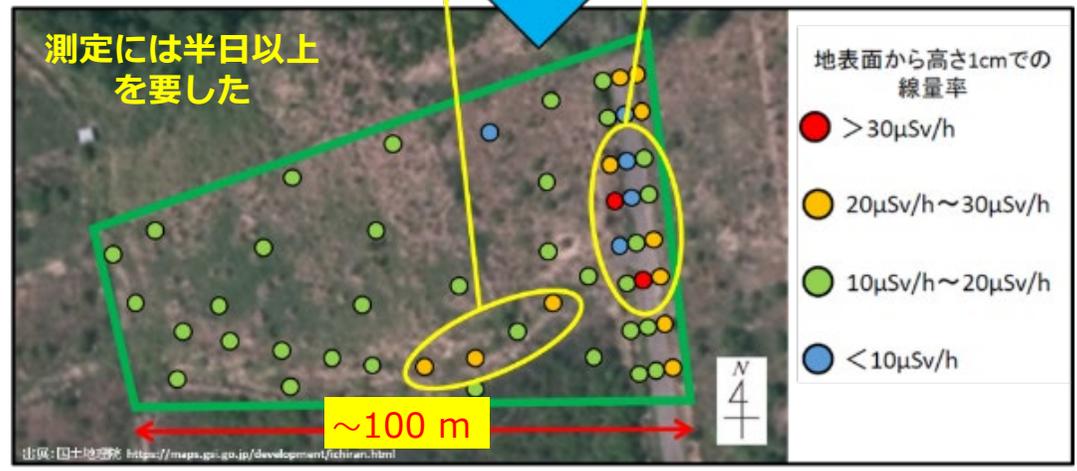


部品製作 & システム化において
南相馬市(株)栄製作所のサポート
⇒ 福島県浜通りから
先端技術を展開したい

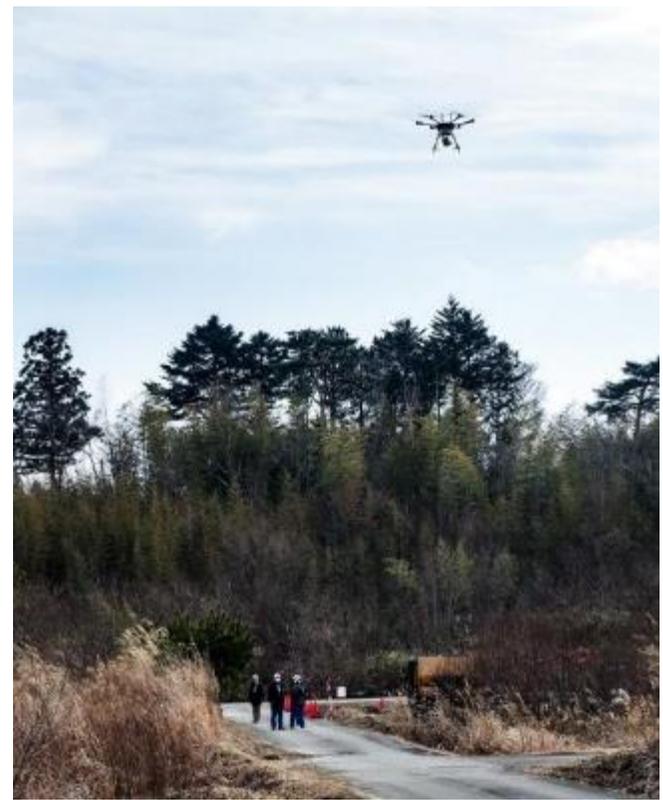
航空写真は国土地理院の公開する地図を使用
<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>



↓ 手持ちサーベイメータによる測定結果



上2つの航空写真は国土地理院の公開する地図を使用 <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>
 JAEA & Chiyoda Technol Corporation, press release, 9th May, 2019



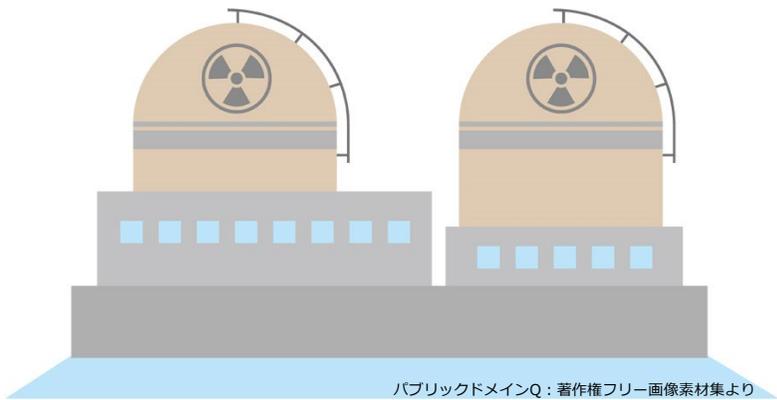
広範囲において**短時間**で**簡便**に**ホットスポット**を可視化

※関連技術について特許出願中
 ※(株)千代田テクノル殿より製品化済

放射能汚染 “見える化”は
福島第一原子力発電所の廃炉・
福島県環境回復だけに利用するの？



No



パブリックドメインQ：著作権フリー画像素材集より

廃炉が決定した国内の原子力発電所^{※1}
24基
※1 2021年9月28日時点

建設中：19か国
53基

世界33か国・地域
で運転中の原子力発電所^{※2}
442基

運転年数30年以上
300基

運転年数40年以上
123基

世界の多くの原子力発電所は今後、廃炉を迎える
放射線 “見える化” 技術の継続・高度化が重要

※1 経済産業省 資源エネルギー庁「日本の原子力発電所の状況」より
※2 (一社) 日本原子力産業協会情報・コミュニケーション部「2020年の主な世界の原子力発電開発動向」2021年3月より

原子力発電所・放射線作業
だけに有益？

▽
No



誰かが放射性核種を持ち込んだら…

放射線見える化 × セキュリティ

イベント会場での放射性核種を悪用した
テロ行為の監視

放射線計測 × 異分野技術によるイノベーション

“空”から帰還困難区域の汚染を可視化

ロボット

“地面”を走行して1F建屋内の汚染可視化



福島県イノベーション・コースト構想補助事業
特許出願・(株)千代田テクノルより製品化済

既製品ロボット
(移動可能範囲に制限あり)

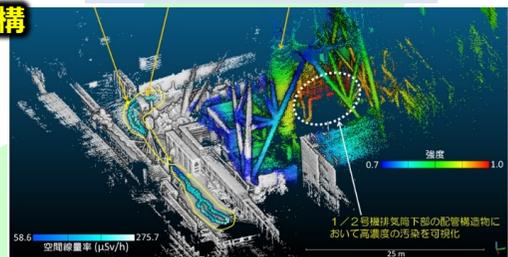


放射線計測 × 異分野技術
イノベーション

(国研) 日本原子力研究開発機構
にて基盤技術 iRIS を開発・
プロジェクトマネジメント

大規模イベント等の
核セキュリティ分野へ波及

マッピング技術



(株)ヴィジブルインフォメーションセンター
よりソフトウェア製品化 (令和3年内予定)

世界の廃炉現場へ展開

VR

1F作業を
オフィスでトレーニング



クモ型ロボットによる
移動可能範囲の拡大
(狭隘部、階段等)
(株)シマノにて開発

AR

現実空間に
汚染源を可視化



放射線源が
入った箱

線源イメージ
をAR表示



ニューノーマルにおける
お茶の間観光に応用

渋谷駅付近を
仮想空間に投影

【渋谷駅周辺750m四方 3Dデータ】、
©【PASCO CORPORATION】、【表示4.0 国際】ライセンス
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> を改変して作成

都市デジタルツインなどの防災ツールと統合
放射線環境のデジタルツイン構築

放射性廃棄物管理、燃料デブリ安全に係る被ばくリスク低減、長期安全への寄与

放射線作業の効率化
放射線作業計画の立案、除染シミュレーション、被ばく線量シミュレーション

デジタルツインを基本概念とした3Dマッピング (AR/VR)
汚染マップ、線源マップ、デブリ・廃棄物マップ

波及効果
世界の原子力施設の廃炉に貢献、核セキュリティ分野への貢献、etc...

安定的効果的な遠隔作業
遠隔機器操作支援、格納容器内センサデリバリー、燃料デブリ搬送

共通基盤技術

放射線計測技術・(可視化(3D))システム
γ線可視化と3D測域センサ等の統合(iRIS)、汚染分布評価、高線量率イメージングセンサ

デジタルトランスフォーメーション(DX)を見据えたデジタル化の推進
放射線場の再現技術の開発、遠隔操作支援技術の開発、3D可視化技術の開発

**燃料デブリの簡易分析技術
廃棄物の簡易分析技術
遠隔簡易分析技術の高度化**
レーザーを用いた元素分析(LIBS)、同位体分析(共鳴分光)、レーザー分析の高度化及び標準化
民間への技術移転・供給

ダスト計測
αダストの可視化、粒子径の評価、天然核種との識別、内部被ばく線量評価の高度化

遠隔操作支援技術・システム
遠隔空間認識支援情報操作システム、遠隔操作に係る情報提示機能・インターフェース、ロボット自動制御機能を有する操作システム

ご清聴ありがとうございました。

謝辞

本成果を得るにあたり、ご協力いただいた皆様に深くお礼申し上げます。

- ◆ V.I.C.の根本誠氏、峯本浩二郎氏には、放射能汚染可視化ソフトウェアの開発においてご協力いただきました。
- ◆ コンプトンカメラの小型・軽量化に際し浜松ホトニクス株式会社の中村重幸氏、平柳通人氏、早稲田大学の片岡淳教授ならびに岸本彩氏にご協力いただきました。
- ◆ コンプトンカメラ搭載ドローンシステムの共同開発において、千代田テクノルの小澤慎吾氏にご協力いただきました。
- ◆ 栄製作所の鈴木力社長には、当該システムの部品加工や装置のシステム化の面でご協力いただきました。
- ◆ (株)シマノの嶋野寛之社長には、ロボットの製作ならびに運用方法についてご助言をいただきました。
- ◆ 1Fにおける実証試験では東京電力HDの宇津木弥氏、佐藤航氏、大浦正利氏にご協力いただきました。
- ◆ 最後に、iRISの共同発案者である福島大学の鳥居建男教授および、多くの試験にご同行いただいた原子力機構の寺阪祐太氏に御礼申し上げます。
- ◆ 本稿には、地域復興実用化開発等促進事業費補助金採択課題「無人飛行体をプラットフォームとする放射線分布の 3D 可視化技術の開発」の成果が含まれます。

