

発災直後の面的な 放射線モニタリング体制のための 技術的研究

京都大学複合原子力科学研究所 谷垣 実

課題名 発災直後の面的な放射線モニタリング体制のための技術的研究

研究期間: 令和元年～3年(2年間)

背景・目的

大規模原子力災害時における防護措置や被曝医療のリソースの的確な投入と対応を支援するため、自律型可搬モニタリングポスト、シングルボードコンピュータベースの廉価な超小型KURAMA-II、自律型のデータネットワークの構築技術の開発を行い、災害時の運用方法の検討を行う。

実施状況

本課題における初年度目標は実証試験や運用方法検討に必要な試作機や通信規格の準備である。具体的には可搬型モニタリングポストの試作機完成と実証試験開始、自律ネットワークの評価と有力候補規格の実証用端末を開発着手、KURAMA-IIのソフトウェア移植と超小型KURAMA-II用の安価な検出器開発着手となる。

本課題は第1四半期末に契約成立着手となったが、作業の効率化等を図った結果、概ね採択時の計画通りに進行している。可搬型モニタリングポストの試作機完成と実証試験の実施、自律ネットワークも候補規格の選定が終わり、試作端末を製作した上で実証試験に着手している。また、KURAMA-IIの移植も各機能の移植は概ね完了し、全体の動作試験に入りつつある。検出器も試作品は完成済みでKURAMA-IIとの試験運用で評価中である。

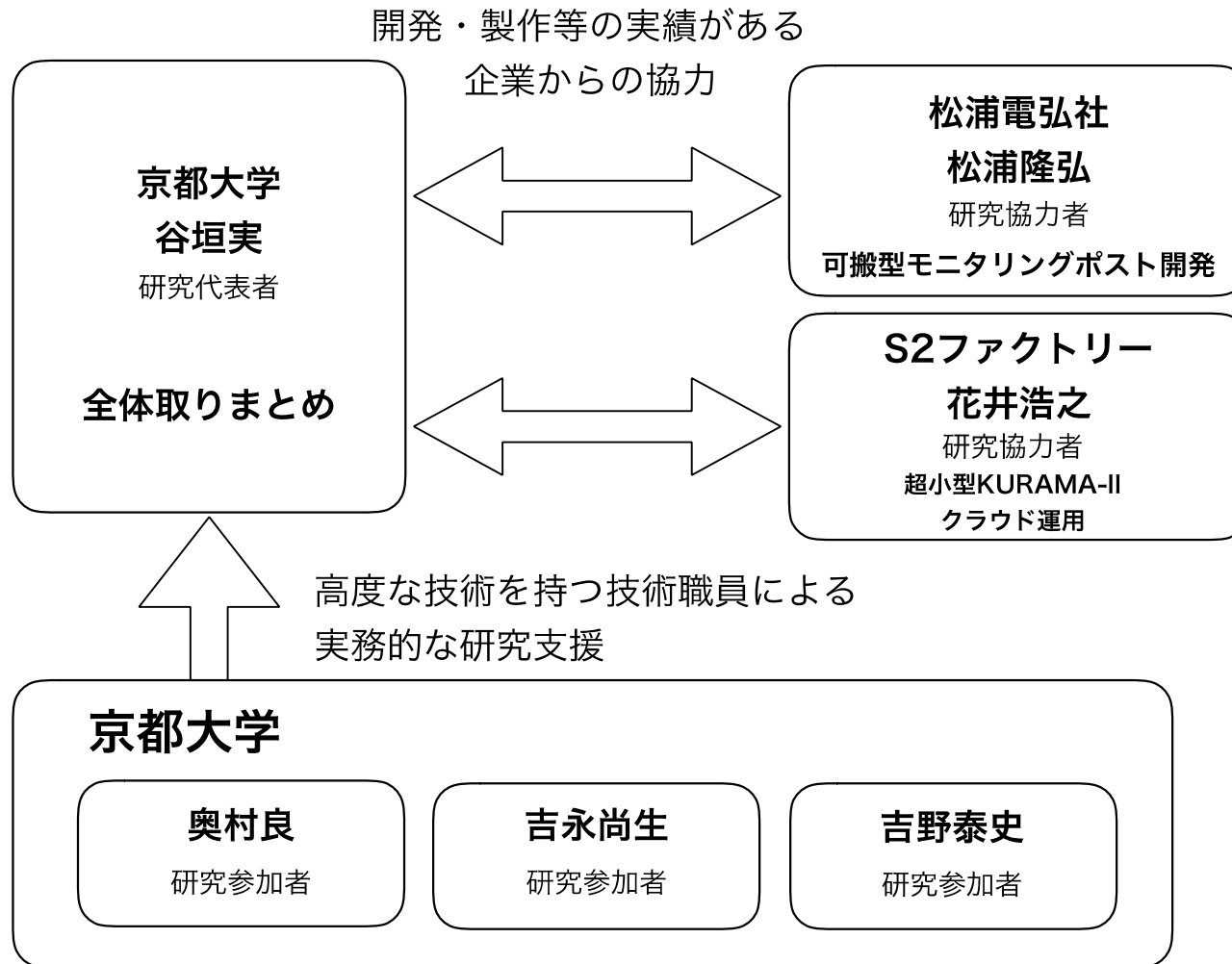
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
可搬型モニタリングポスト	基本設計	製作		実証試験
自律ネットワーク	体制構築	規格調査		試験端末試作
超小型KURAMA-II	体制構築		ソフト移植	検出器試作

期待される成果

原子力災害発災直後のモニタリング体制の弱点であるヨウ素131等の短寿命核種等の測定機会の損失を最小限に食い止めることができる。信頼性は高いものの面的な展開の困難な試料サンプリングによる精密測定を補完し、対象地域内の分布状況の把握や住民の被曝状況の把握の上で有効なツールとなる。

研究体制

KURAMAの開発・製造・運用・試験に従事した人員と企業で構成



研究背景

事故に備えた様々な備えがなされている



研究背景

信頼性を優先したがための困難

新潟県の訓練の様子



重くて運搬困難

可搬型モニタリングポスト

高価で台数が少ない

災害時に機能しない
(停電・輻輳・倒壊)

生活圏

圏内展開困難(高価・低い機動性)
核種同定ができない
(ヨウ素の被曝評価に問題)

研究目標

KURAMA-IIの成果で既存モニタリング体制を補完・強化

可搬型モニタリングポストの開発

- 本当の可搬型（片手で持てる）
- バッテリー駆動で10日間
- スペクトルデータ取得

超小型KURAMA-IIの開発

- 安価に（使い捨ても視野）
- Singleboard Computerで構築
- KURAMA-IIと同等の検出能力
- 耐久性を数でカバー

自律型ネットワーク

- ばら撒かれた機器を結ぶ
- 機動性・柔軟性を確保
- 既存回線に依存しない観測網



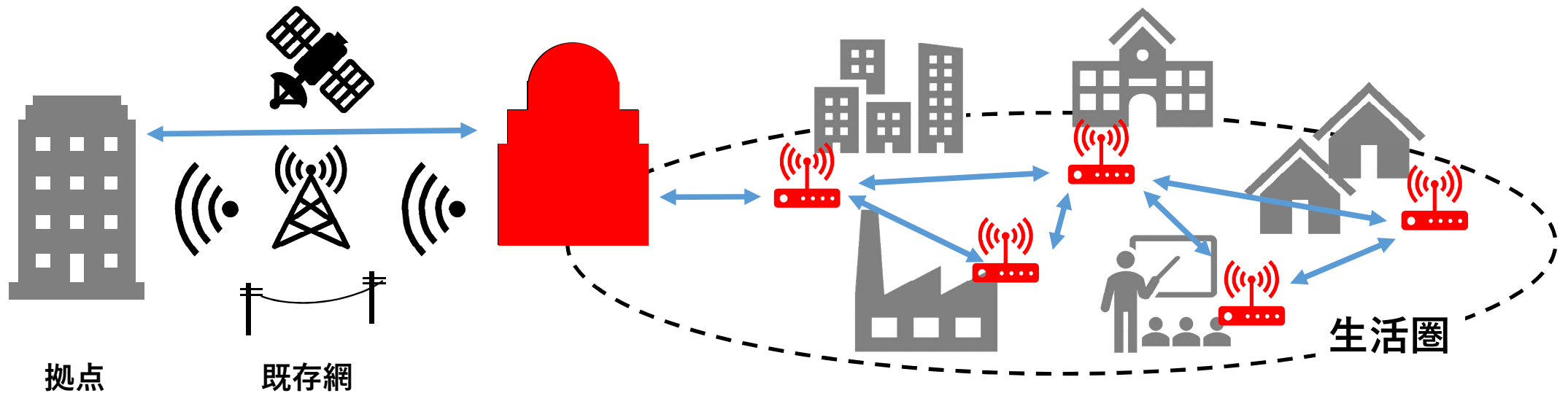
今回の研究の位置づけ

信頼性と効率的な面的モニタリング

可搬型モニタリングポスト
基幹・従来のスキームの対応力強化

超小型KURAMA-II
高い機動性と面的な補完

自律型ネットワーク
信頼性と機動性の結合



既存システムの信頼性を維持・補完し
よりきめ細やかで高い機動性の面的モニタリング

検出器

CsI(Tl)+MPPC ・ KURAMA-IIと特性を揃える

MPPCモジュールの例

MPPCモジュール
C13365シリーズ

アナログ出力

特長

- 精密計測用MPPCを内蔵
- 短波長域で高感度
- 低い雑音等価電力
- 温度補償機能を内蔵
- 小型/軽量

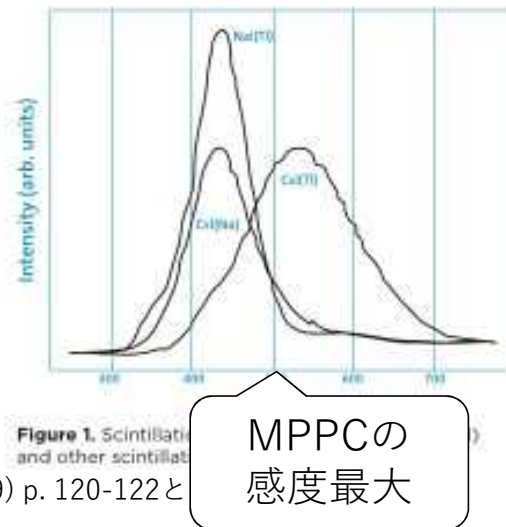
用途

- フローサイトメトリ
- 微弱光計測
- 蛍光計測



NaI(Tl)とCsI(Tl)の比較

	NaI(Tl)	CsI(Tl)
実効原子番号	50	54
密度(g/cm ³)	3.67	4.51
蛍光出力	39000	45000
蛍光減衰時間(ns)	230	1000
潮解性	大	若干
自己汚染	無	無



MPPC (Multi-Pixel Photon Counter)

- Avalanche Photo Diodeを面的に並べたもの
- 数十Vのバイアス電圧で高い増倍率・検出効率を実現
- フォトダイオードより高いS/N
- 磁場の影響を受けない安定した動作
- 市場競争により著しい価格低下と性能向上

CsI(Tl)+MPPCのメリット

- CsI(Tl)は潮解性が小さく、強度も大
- 全半導体化可能で小型かつ堅牢にできる
- CsI(Tl)の発光波長はSiフォトダイオードに適合
- 従来のCsI(Tl)+フォトダイオード並みの価格

今回の検出器仕様

- CsI(Tl)+MPPCを採用
- 放射線特性はKURAMA-IIと同じ
- 高計数率対応C12137シリーズ (可搬ポスト)
- AD変換以降を最適化 (超小型)

研究計画

1年目第4四半期開始（2020年1月時点）

実施項目	担当者* (所属機関)	令和元年度				令和2年度			
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
目標：KURAMA-II をベースにした小型軽量のモニタリング機器の開発と災害時の運用方法の確立									
自律型可搬モニタリングポストの開発	谷垣実(京都大学) 松浦隆弘(松浦電弘社)	基本設計	製作	現地試験（季節ごとに2週間程度）および各種特性試験					
				現地試験・特性試験に基づく不具合修正・最適化作業					
自律型ネットワークの構築技術の研究	谷垣実(京都大学) 奥村良(京都大学)	実施体制構築	各種通信規格の調査	試験用端末試作	ネットワーク単独試験	モニタリングポスト等との組み合わせ試験			
超小型KURAMA-IIの開発	谷垣実(京都大学) 花井浩之(S2ファクトリー) 奥村良(京都大学)	実施体制構築	KURAMA-II ソフトウェア移植作業		超小型KURAMA-II 単体試験	ネットワークとの組み合わせ試験			
			簡素で廉価なCsl検出器の試作						
上記開発研究に使用する関連計測技術の調査、研究開発における成果発表および取りまとめ	谷垣実(京都大学)	ICALEPCS2019に参加し、計測制御技術の調査及び進捗状況発表			PCaPAC2020で計測制御技術の調査及び進捗状況発表				
					超小型KURAMA-IIの製作方法やソフトウェアのオープンソース化				
					結果取りまとめ 論文執筆				

モニタリングポスト

- ・ 試作機製作完了
- ・ 現地試験開始

自律型ネットワーク

- ・ 通信規格の調査終了
- ・ 候補規格の試験開始

超小型KURAMA-II

- ・ 移植作業遂行中
- ・ Csl(TI)検出器開発中

可搬型モニタリングポスト

大幅な小型化を達成



従来の可搬型モニタリングポスト



KURAMA-IIベースの可搬型モニタリングポスト

可搬型モニタリングポスト

フィールドテストを開始



富岡町での試験の様子



開発の現状

- 福島県内、熊取町で実証試験開始
- 連続稼働50時間以上（市販のLi-ion電源）

今後の予定

- 様々な条件での線量率測定
- 標準場での特性評価
- 耐環境性の評価と必要な改良
- 稼働時間の延長（動作サイクル等見直し）

超小型KURAMA-II

シングルボードコンピュータで計測

CXD5247 (Power/Audio)



Sony Spresenseの構成

Sony Spresense

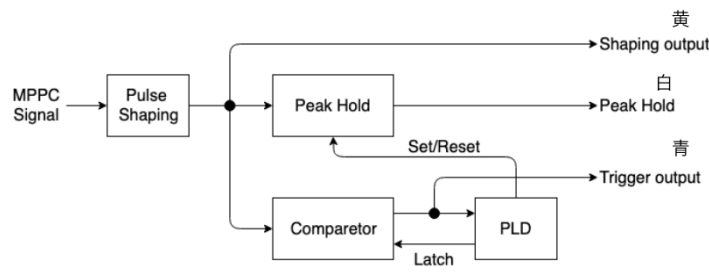
- 低消費電力とリチウムイオンバッテリー制御機能
- 高いアナログ信号処理能力 (500 kS/sec)
- LTE, Wi-Fi, LPWAモジュールが供給されている
- 幅広いGNSS対応 (GPS, みちびき etc.)

CsI(TI) + MPPC

- 光センサ市場の競争による高い価格対性能比
- 従来KURAMA-IIと同等の放射線検出能力
- Spresenseの信号処理を前提とした簡素化

開発の現状

- 通信、測位等の要素技術は確立
- 放射線パルスのAD変換技術を開発中 (Spresenseのチューニングを含む)
- 評価用CsI(TI)検出器で性能評価
- 量産前提のCsI(TI)検出器試作品の構成検討中



評価用CsI(TI)検出器の構成



自律型ネットワーク

ネットワーク設計の最適化なしに使えるもの

判断のポイント

- 数百m以上の到達距離
- 数百bytes/回以上の転送量

通信事業者の対応なしにエリア拡大
本来的な動的な転送経路

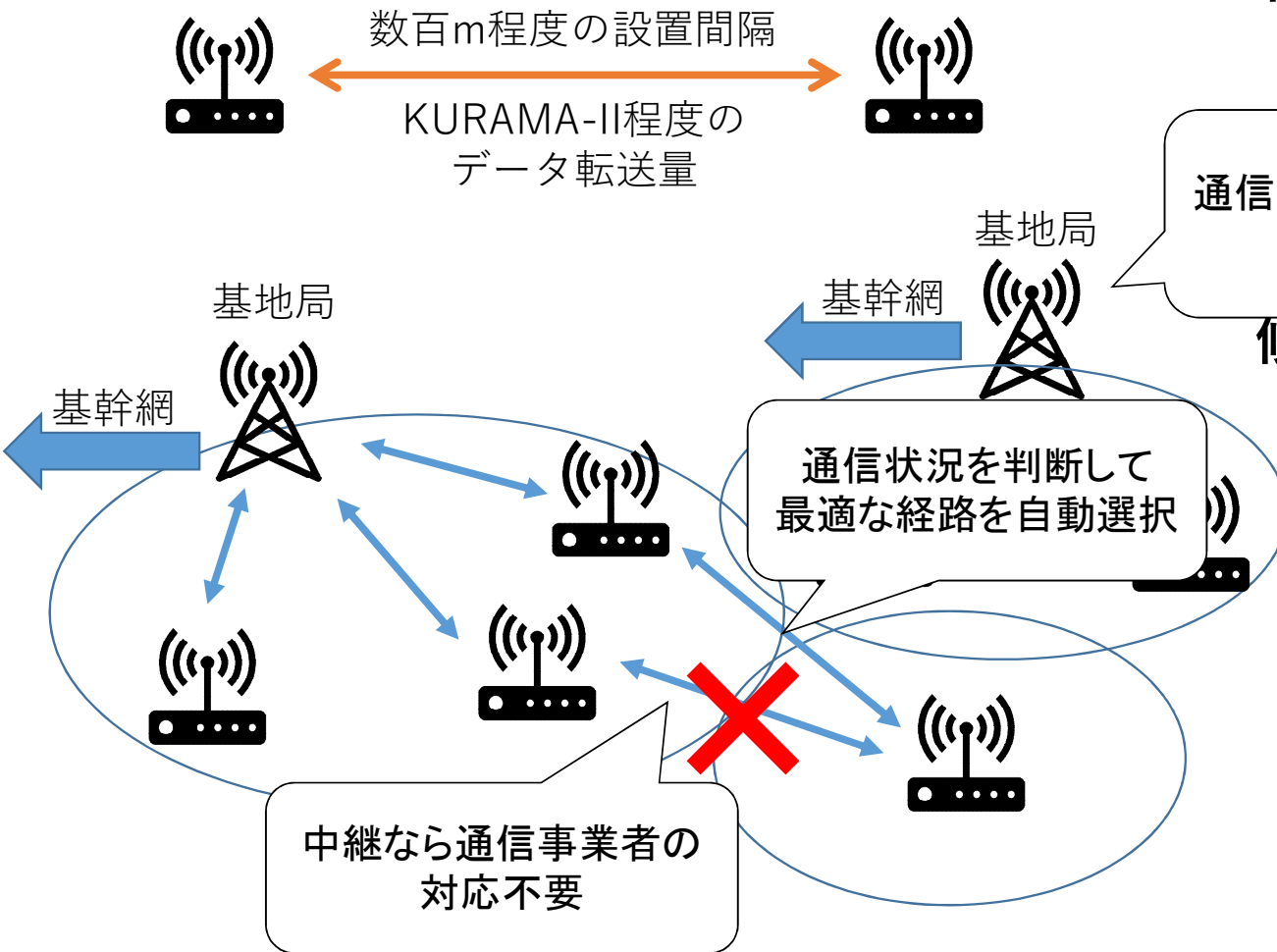
候補規格

ZETA (ZETA Alliance)

- 見通しで2~10 km
- 中継機4段まで中継可能
- 伝搬状況に応じた動的な転送経路
- 最大数十kB/s、49 bytes/送信

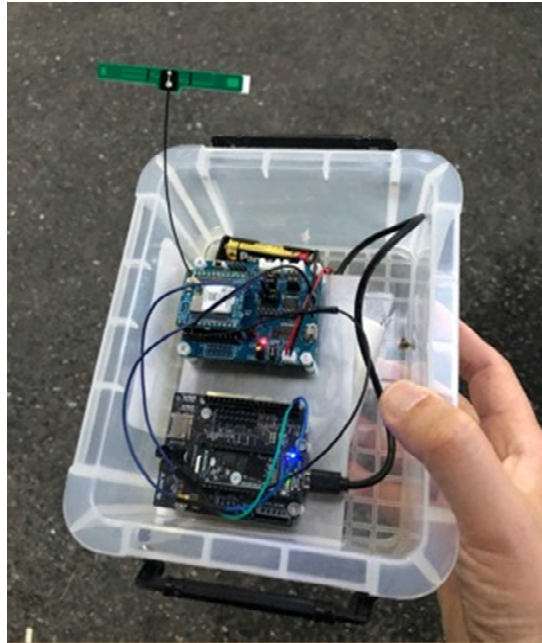
Wi-SUN FAN (京都大学他)

- 見通しで500 m
- 中継機20段まで中継可能
- 伝搬状況に応じた動的な転送経路
- TCP/UDP通信、最大300 kB/s
- 市販モジュールが2020年第一四半期



実証試験 (ZETA)

評価可能なZETA規格について評価開始



評価用端末

ZETA評価モジュールと
超小型KURAMA-II (プロトタイプ)



中継器

ZETA評価モジュールと
バッテリーで構成

実証試験

- オフィス街での検証 (東京都区内)
- 中継によるエリア拡大の検証
- 伝搬状況に応じた動的な転送経路の検証
- プロトタイプ超小型KURAMA-IIと組み合わせ
- 30秒ごとにGPS (時刻・座標) とダミー線量率

結果

- 直線距離で1 km以上伝搬
- ビル陰不感地帯も中継器で解消
- 中継器で200~300 m程度範囲拡大
- 動的に直接・中継を選択
- 通信確立中は大きな遅延はない

今後

- 様々な環境で試験を継続 (住宅地・山林など)
- 既設モニタリングポスト間の通信確立検証も
- Wi-SUN FANも順次開始 (2020年2月以降?)

今年度の成果

国内外で計画や成果を紹介

ICALEPCS 2019 (10月6~11日 於 ニューヨーク)

M. Tanigaki, CURRENT STATUS OF KURAMA-II

※Speakers' Corner & Poster presentationに選ばれ、
Posterと同時に成果等のデモンストレーション実施

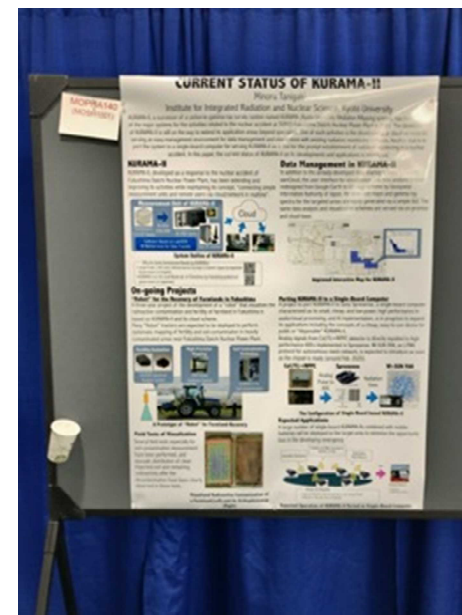
原子力学会 2019年秋の大会 (9月11~13日 於 富山大学)

谷垣 実：福島における放射性物質分布調査
(2) KURAMA-IIの展開と開発の現状と今後

研究会での発表・一般向け講演

第7回「原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会」および第416回生存圏研究所シンポジウム「第9回東日本大震災以降の福島の現状及び支援の取り組みについて」(12月11~12日 於 東京都千代田区)

アトムサイエンスフェア講演会 (10月19日 於 大阪府熊取町)



自己評価

開始が遅れたがほぼ当初計画まで追いついた

項目	当初計画 (第四半期時点)	現状	評価
モニタリングポスト	試作完了 現地試験開始	試作機完成 富岡町他で試験開始	当初計画通り ○
超小型KURAMA	移植作業中 検出器開発中	GPS・メモリアクセスおよび 通信機能実装済み 検出器パルス測定も目処 CsI(Tl) + MPPCモジュール	当初計画通り メーカーと連携で課題解決 市場動向で一部変更 ◎
自律型ネットワーク構築	規格調査終了	ZETA/Wi-SUNを候補に選定 開発メーカー等と実証試験開始 原発周辺でのネットワーク構築	当初計画通りだが 候補規格の一つが ロールアウト待ち ○
成果発表	ICALEPCS 2019	ICALEPCS2019 原子力学会2019秋の大会 KURAMA研究会 アトムサイエンスフェア講演会	専門家向けだけでなく 一般向けも実施 ◎