

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、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

最終年度である本年度は、可搬型モニタリングポストの開発、自律型ネットワークの検証、超小型KURAMA-IIの開発の完了が目標となる。しかし新型コロナ流行とそれに伴う緊急事態宣言とそれに伴う各種自粛要請が支障となり、試作や動作試験、現地試験などが当初計画通り進められず、内容を精査して実質的な目標達成を目指さざるを得なくなった。

可搬型モニタリングポストは耐候性他の改善とJAEA校正施設の照射試験を行った。福島での各種運用試験は石川県内の長期連用試験で代替し実用的な完成度を確認した。LPWAネットワークは島根原発周辺での短期及び長期の試験用通信網を構築、既設固定モニタリングポスト程度の密度でも安定に機動的な通信網の運用を確認した。超小型KURAMA-IIは検出器の試作検証やシングルボードコンピュータのファームウェア改良などを進めた。島根県のLPWAネットワークでの展開等の実証試験を実施した。

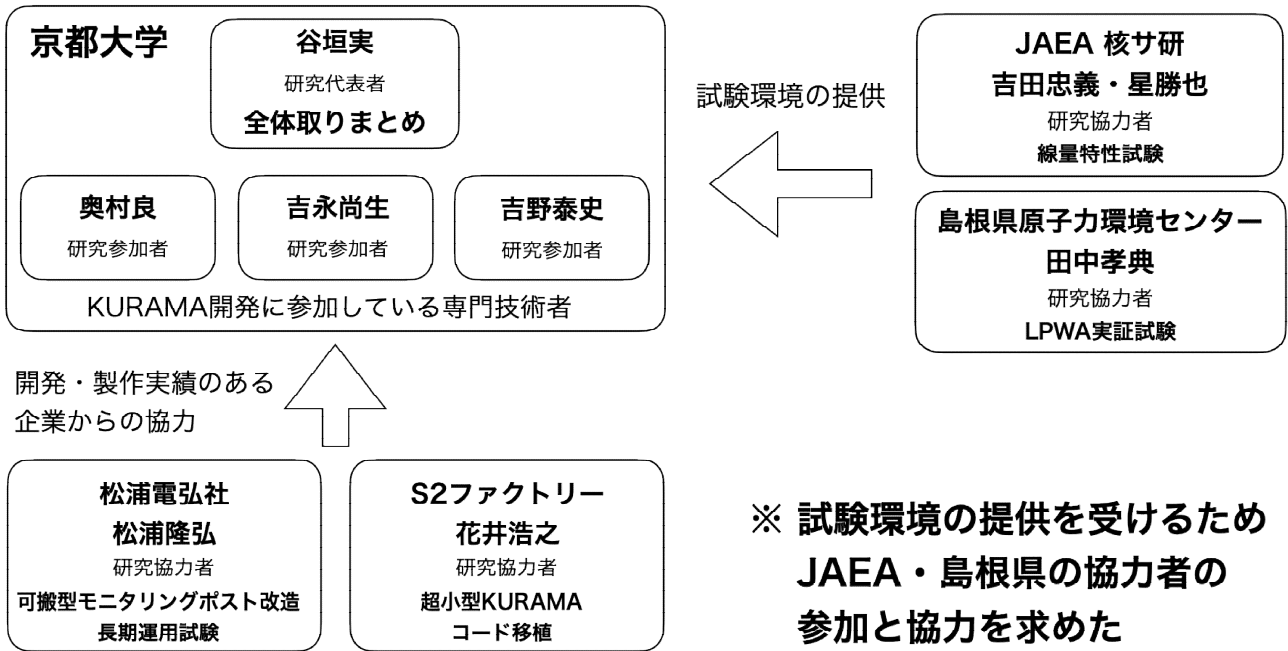
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
可搬型モニタリングポスト	改良作業		実証試験・特性試験	
自律ネットワーク	サーバ整備	試験通信網設計		各種通信試験
超小型KURAMA-II	検出器試作	検出器改良		組立・最終試験

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。また、今回のLPWAネットワークの成果は極めて安価かつ簡便な既設モニタリングポストのバックアップネットワーク構築への応用が期待される。

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



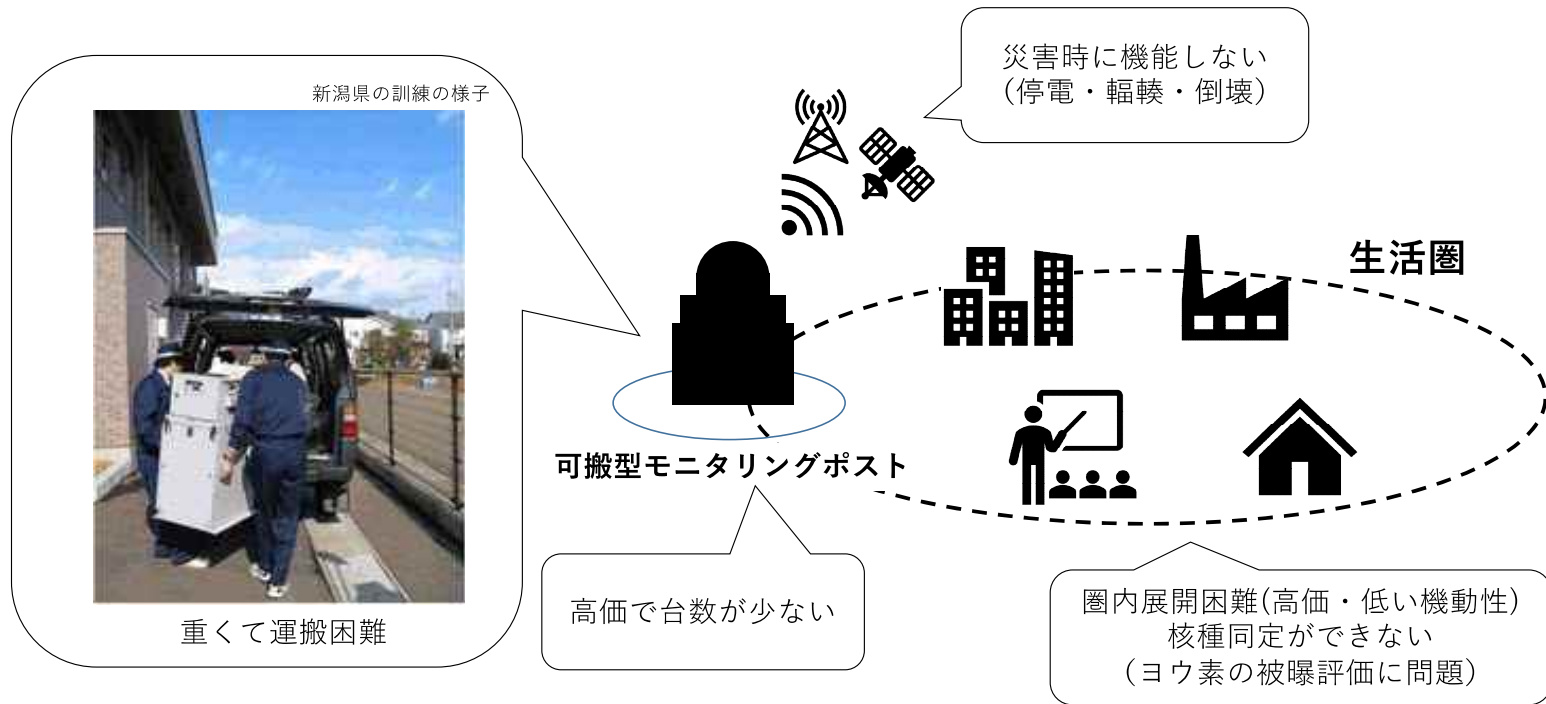
研究背景

事故に備えた様々な備えがなされている



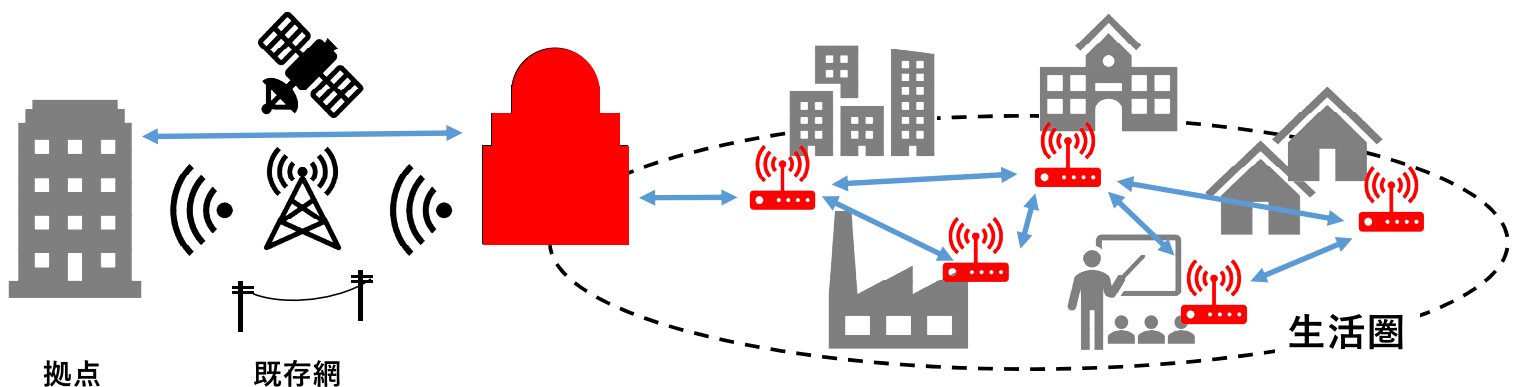
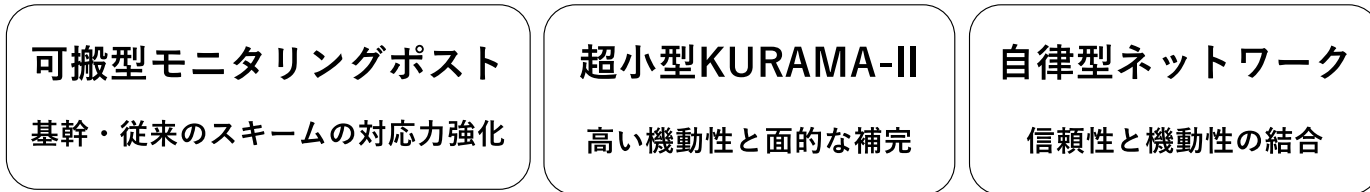
研究背景

信頼性を優先したがための困難



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



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

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(松浦電気社)	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		試験用端末製作		ネットワーク単独試験 ネットワーク試験等のための環境整備・試験内容検討	
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		KURAMA-IIソフトウェア最適化作業・シングルボードコンピュータ改善作業		超小型KURAMA-II単体/組合せ試験	
上記開発研究に使用する関連技術の調査・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				IRPA 15で計測制御技術の調査及び進捗状況発表			
		超小型KURAMA-IIの製作方法の公開方法について検討				意見取りまとめ 論文執筆			

モニタリングポスト

- ・ 校正施設での特性試験終了
- ・ 耐候性試験および長期運用試験も実施

自律型ネットワーク

- ・ 候補規格選定終了
- ・ 候補規格の試験は研究期間後も継続

超小型KURAMA-II

- ・ 試作機が完成
- ・ 自律型ネットワークとの組み合わせ試験実施
- ・ 事業終了後に学内措置によりASIC部分代替品の開発に着手

可搬型モニタリングポスト

実用レベルで完成している



従来品



今回開発したもの
(長期耐候性試験時に撮影)

開発の現状

- ・ KURAMA-IIそのままのスペックを実装
- ・ 耐候性が大幅に向上(数ヶ月屋外利用可)
- ・ 連続稼働140時間(市販のLi-ion電源)
- ・ JAEAでの特性試験で良好な成績

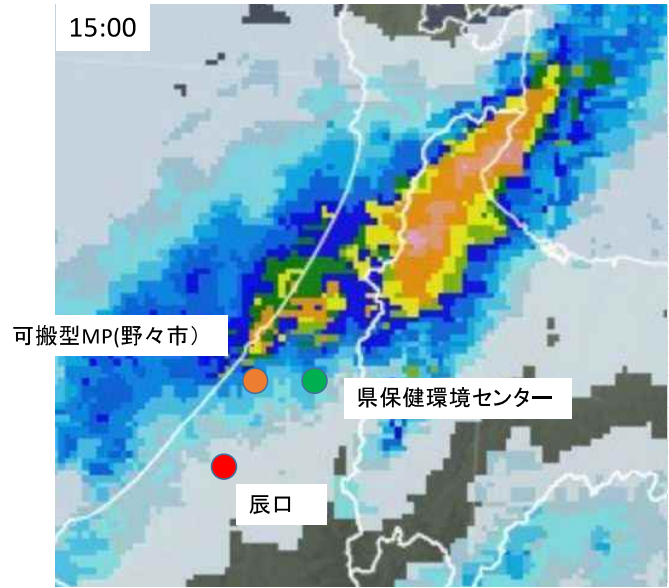
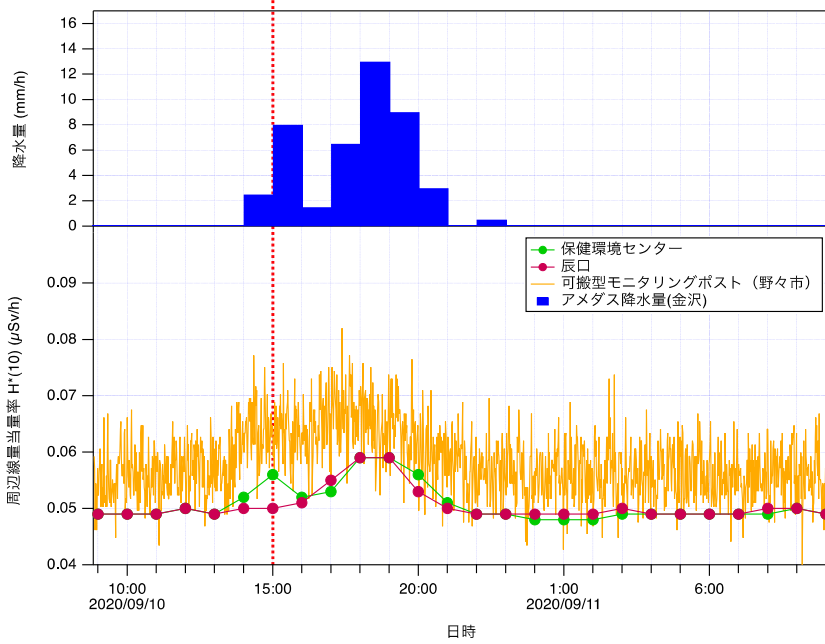
今後の予定

- ・ 様々な設置条件での動作試験
- ・ 稼働時間の延長(通信モジュールの動作モードの最適化など)

可搬型モニタリングポスト

耐候性・長期運用試験

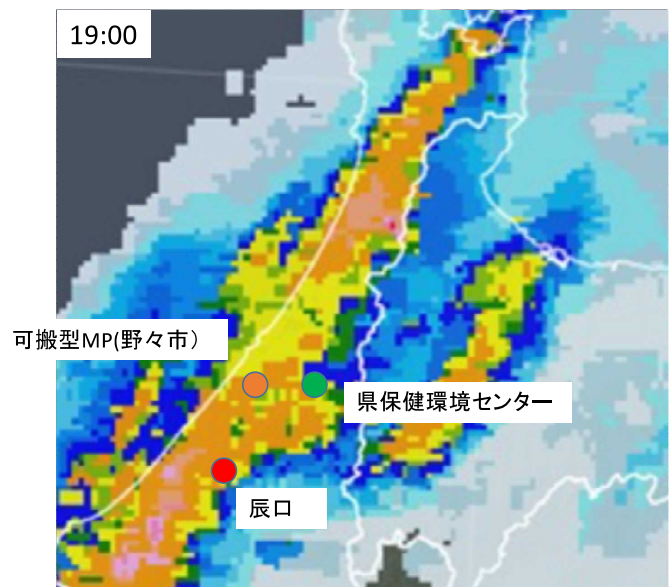
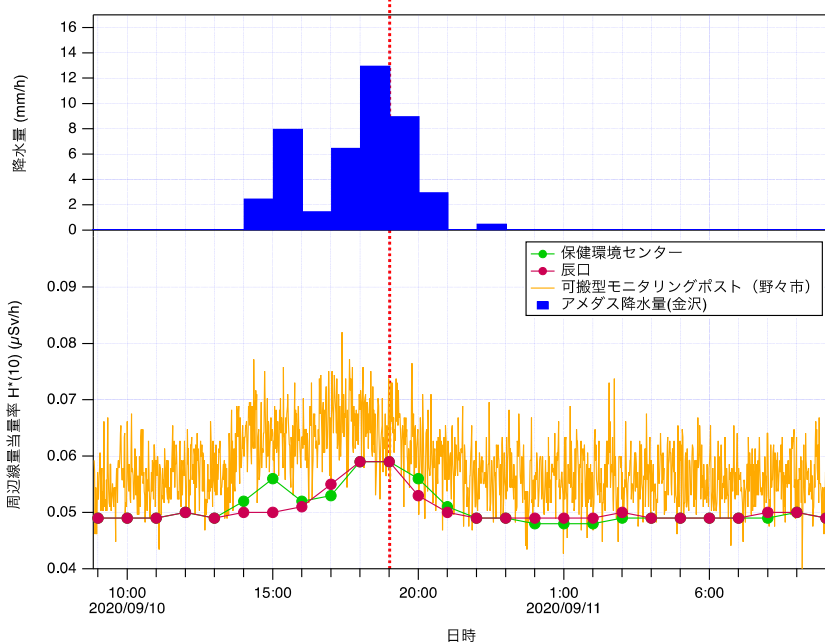
近隣モニタリングポストとの比較 (1 Gy = 1 Sv)



可搬型モニタリングポスト

耐候性・長期運用試験

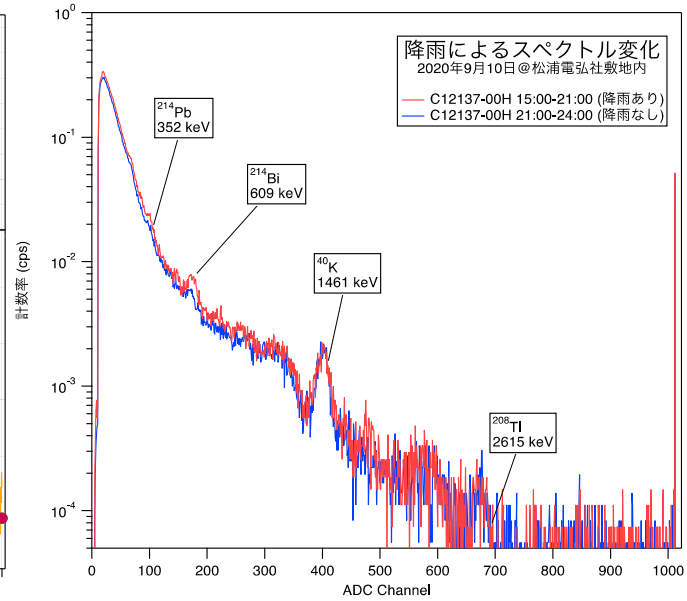
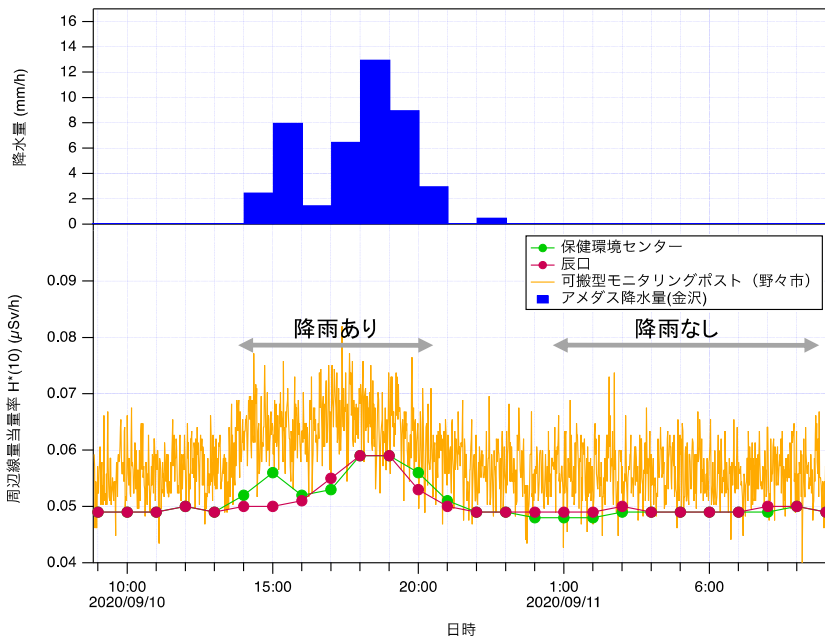
近隣モニタリングポストとの比較 (1 Gy = 1 Sv)



可搬型モニタリングポスト

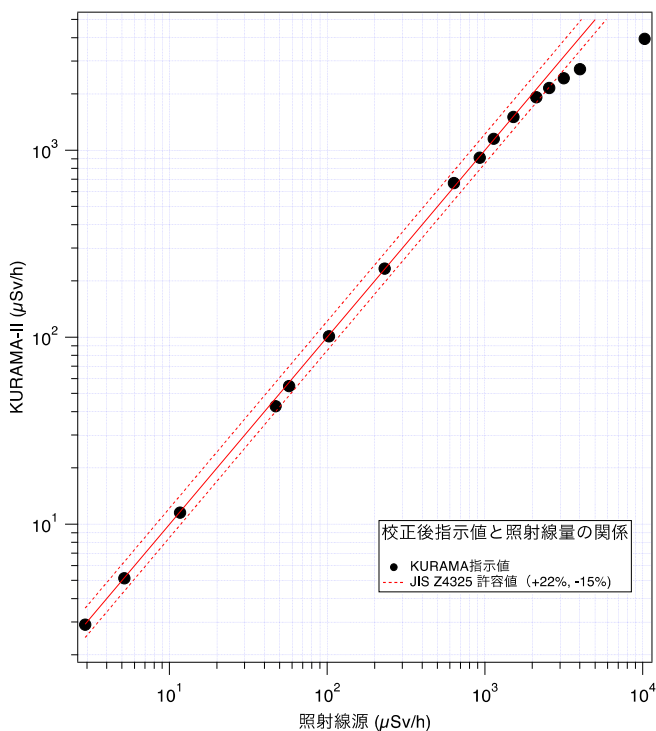
耐候性・長期運用試験

近隣モニタリングポストとの比較 (1 Gy = 1 Sv)



可搬型モニタリングポスト

JAEA核サ研での照射試験



直線性試験

- 最大2 mSv/hまで+22%, -15%を満たす

方向性試験

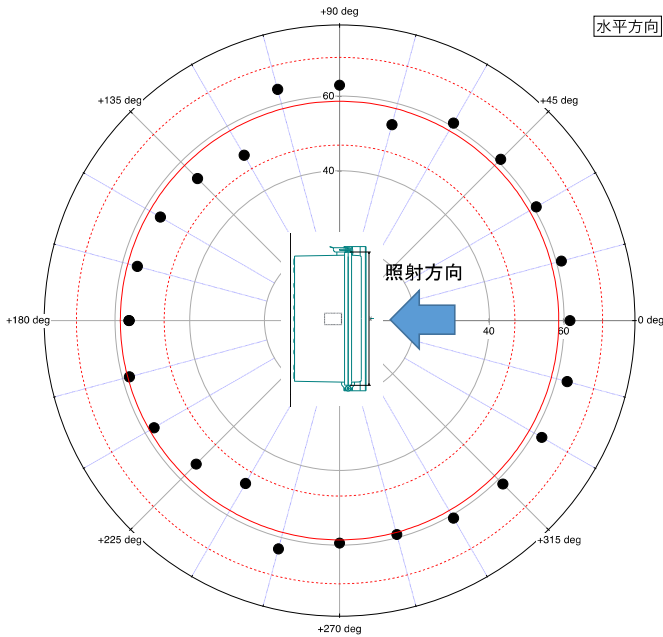
- 検出器位置の周辺線量当量率は約60 μSv/h
- 水平方向は全方向で±20%以内
- 垂直方向は±120度で±20%以内

エネルギー依存性試験

- 241Am~60Coの範囲で試験。誤差の範囲で有意な逸脱はない。

可搬型モニタリングポスト

JAEA核サ研での照射試験



直線性試験

- 最大2 mSv/hまで+22%, -15%を満たす

方向性試験

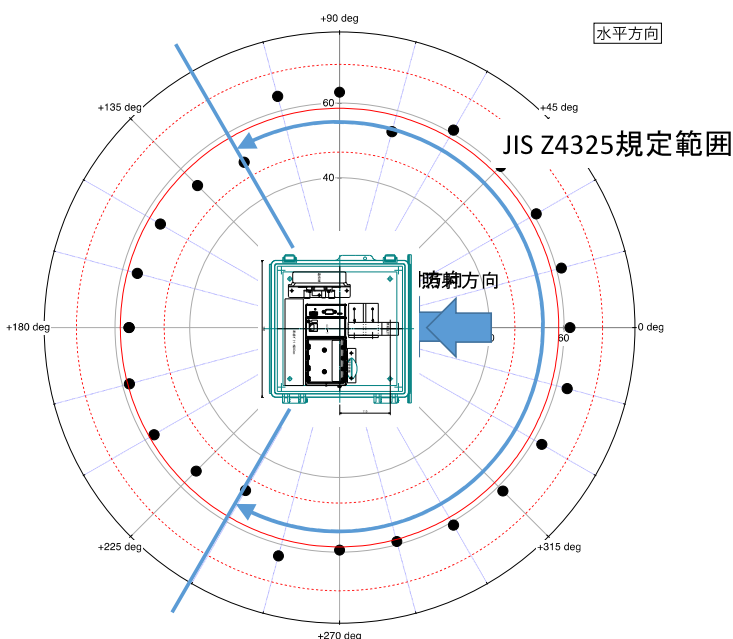
- 検出器位置の周辺線量当量率は約60 μ Sv/h
- 水平方向は全方向で $\pm 20\%$ 以内
- 垂直方向は ± 120 度で $\pm 20\%$ 以内

エネルギー依存性試験

- $^{241}\text{Am}\sim^{60}\text{Co}$ の範囲で試験。誤差の範囲で有意な逸脱はない。

可搬型モニタリングポスト

JAEA核サ研での照射試験



直線性試験

- 最大2 mSv/hまで+22%, -15%を満たす

方向性試験

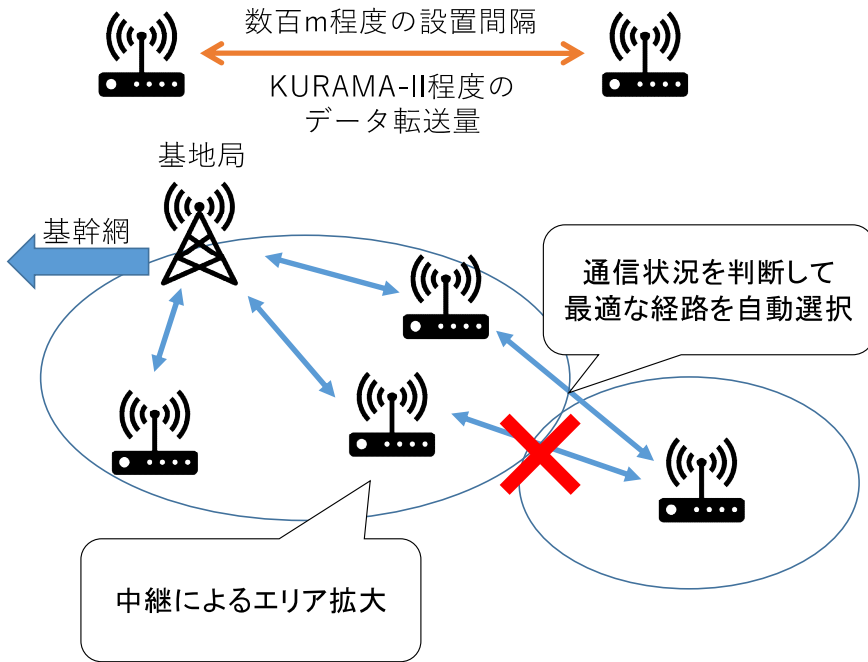
- 検出器位置の周辺線量当量率は約60 μ Sv/h
- 水平方向は全方向で $\pm 20\%$ 以内
- 垂直方向は ± 120 度で $\pm 20\%$ 以内

エネルギー依存性試験

- $^{241}\text{Am}\sim^{60}\text{Co}$ の範囲で試験。誤差の範囲で有意な逸脱はない。

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
- 自営網運用
- 中継によるエリア拡大
- 伝搬状況に応じた動的な転送経路

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)

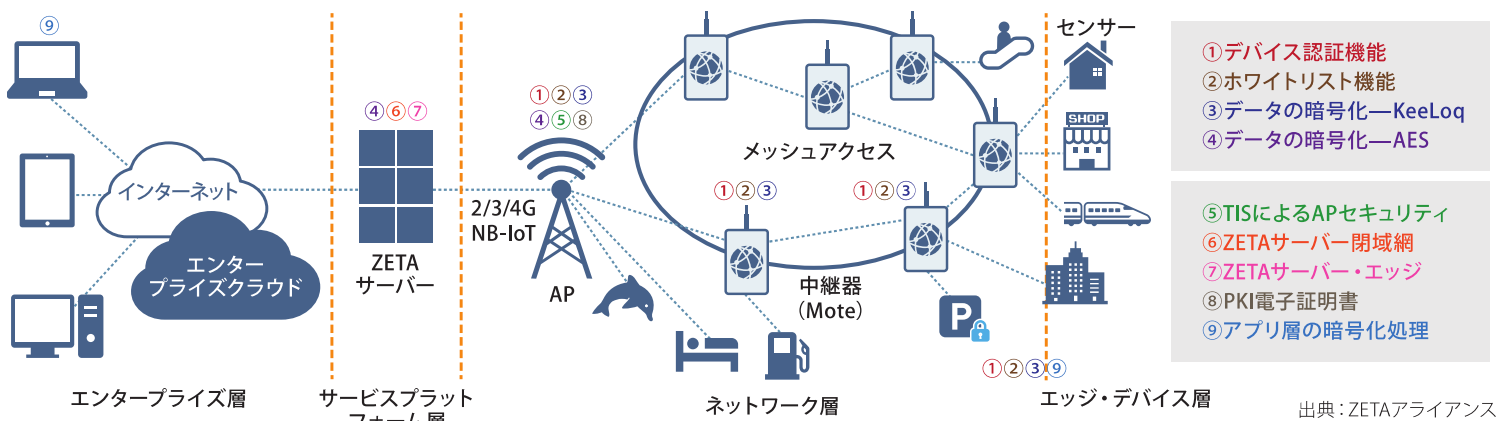
- 見通しで500 m
- 中継機20段まで中継可能
- 伝搬状況に応じた動的な転送経路
- TCP/UDP通信、最大300 kB/s
- 市販モジュールが2020年第一四半期

LPWAのセキュリティ対策

様々な対策が取れるようになっている

今回採用したZETAのセキュリティ対策の内容

図表2 ZETAセキュリティの概要



(テレコミュニケーション 2021年2月号より引用)

実証試験 (ZETA)

宍道湖周辺のモニタリングポスト間で試験実施



結果

- 直線距離で10 km以上使えた
- 不感地帯も中継器で解消
- 霧・雨・雪によらない

緊急時の展開だけでなく
既設MPのバックアップ回線としても
有力な手段

実証試験 (ZETA)

宍道湖周辺のモニタリングポスト間で試験実施



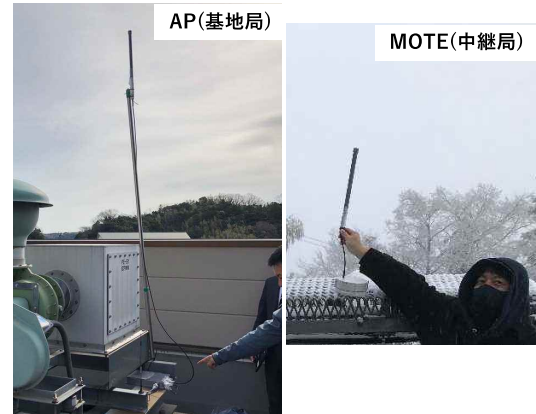
結果

- 直線距離で10 km以上使えた
- 不感地帯も中継器で解消
- 霧・雨・雪によらない

緊急時の展開だけでなく
既設MPのバックアップ回線としても
有力な手段

実証試験 (ZETA)

宍道湖周辺のモニタリングポスト間で試験実施



結果

- 直線距離で10 km以上使えた
- 不感地帯も中継器で解消
- 霧・雨・雪によらない

緊急時の展開だけでなく
既設MPのバックアップ回線としても
有力な手段

超小型KURAMA-II

実証試験機が完成・運用開始

Sony Spresense

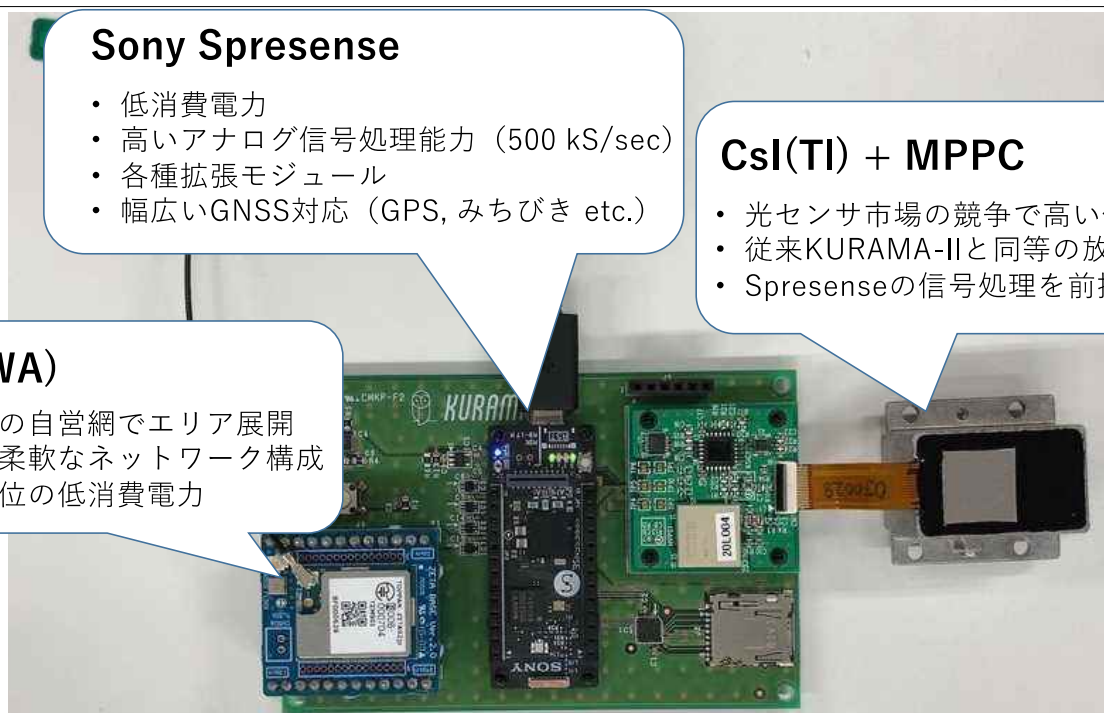
- 低消費電力
- 高いアナログ信号処理能力 (500 kS/sec)
- 各種拡張モジュール
- 幅広いGNSS対応 (GPS, みちびき etc.)

CsI(Tl) + MPPC

- 光センサ市場の競争で高い価格対性能比
- 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

ZETA(LPWA)

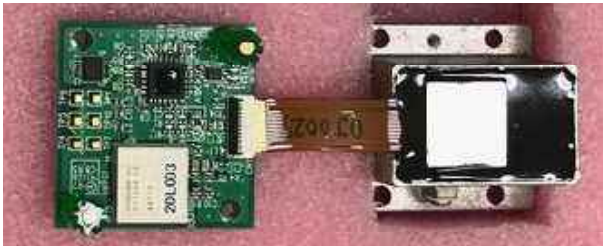
- 事業者非依存の自営網でエリア展開
- メッシュ型の柔軟なネットワーク構成
- 乾電池で年単位の低消費電力



超小型KURAMA-IIの内部基板

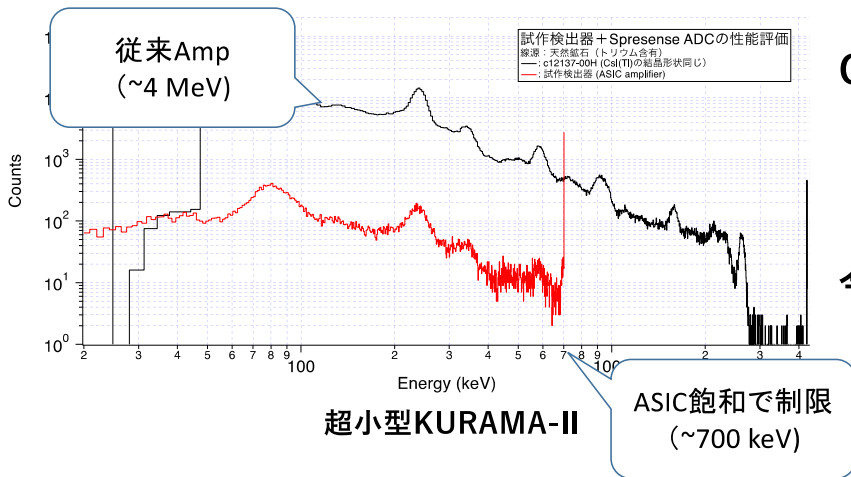
超小型KURAMA-II

概ね完成・課題のアンプも技術的に問題なく別経費で試作中



本体の状況

- 放射線パルスのAD変換アルゴリズム完成
- メインボードも完成
- ZETA経由で測定データ送信成功
- パッケージング作業中
- 年度末までフィールドテスト継続
- ZETAネットワークで実証試験（島根ほか）



CsI(Tl) + MPPC

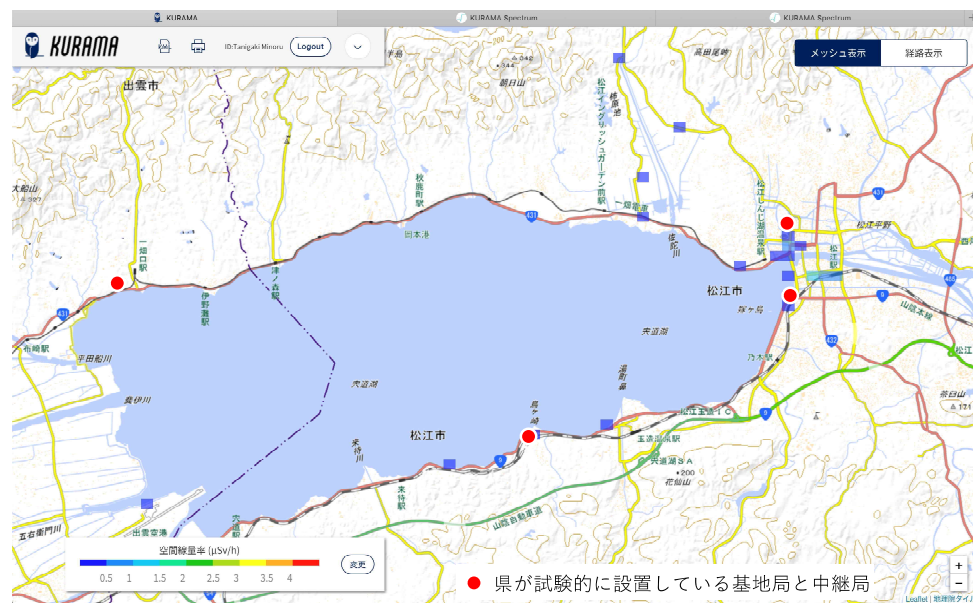
- 廃番による代替MPPCはGain大でASICが飽和
- ゲイン以外は予定通りの能力達成
- 飽和問題はASIC再設計か従来アンプで対応可と確認

今後の展開

- 学内経費でASICアンプ代替品製作中
- 量産化に向けた企業への技術供与の交渉中

実証試験(超小型KURAMA-II)

宍道湖周辺各地に展開して測定を実施



松江市内(左)と出雲空港内(右)での測定の様子

宍道湖一帯に設置したZETA網を活用して機動的なモニタリングの展開に成功
東京都市部でも初歩的な展開試験に成功

※今回のASICアンプのエネルギー帯域と直線性の制約（詳細は成果報告書を参照のこと）から表示の線量率の絶対値は当時の線量率とは一致しない

成果発表の状況

国内外で計画や成果を紹介・社会実装も

IRPA 15 (2021年1月18~19日 オンライン開催)

M. Tanigaki, CURRENT STATUS OF KURAMA-II

保健物理学会53回研究発表会 (2020年6月29日~7月31日 オンライン開催)

谷垣 実: KURAMA-IIの開発の現状

原子力学会 2019年秋の大会 (2020年9月11~13日 オンライン開催)

谷垣 実: 福島における放射性物質分布調査
(2)KURAMA-IIの開発の現状

研究会での発表・一般向け広報活動

- 第8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440回生存圏研究所シンポジウム「第10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」(11月30日~12月1日 於福島市・京都市・オンラインのハイブリッド開催)
- 日テレNews24特集記事(2021年3月9日)
(URL: <https://news.yahoo.co.jp/articles/ed029d647c443be172bdce06f6ea35b666ee3b0b>)
- Makers Faire Kyoto 2021 参加(2021年5月1~2日 オンライン開催)
(URL: <https://makezine.jp/event/mfk2021/>, https://twitter.com/kurama_dev/)



社会実装の状況

自律型ネットワークや可搬型モニタリングポストを活用した2件の導入案件が進行中

(Makers Faire Kyoto 2021)

自己評価

開始が遅れたがほぼ当初計画まで追いついた

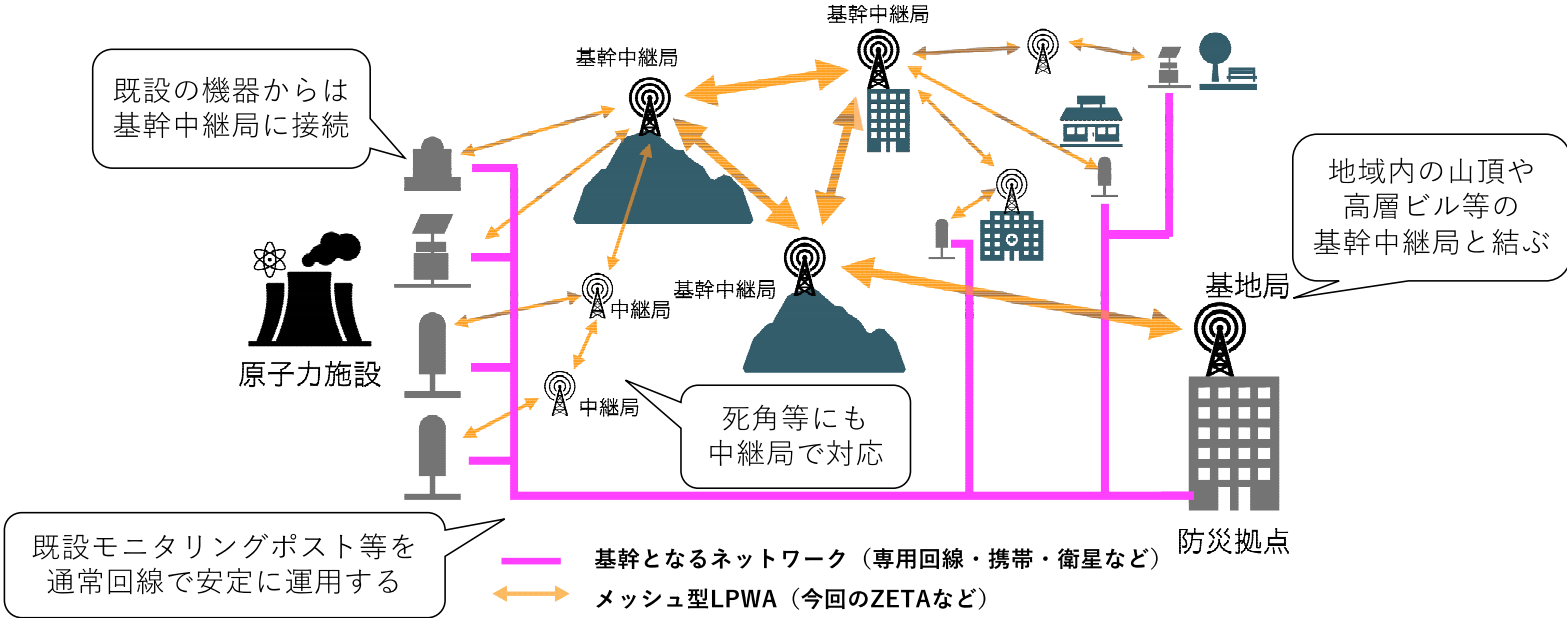
項目	当初計画 (第四半期時点)	現状	評価
モニタリングポスト	試作機完成 製作・不具合修正完了 現地試験完了	試作機完成・耐候性改善終了 特性試験完了 長期試験継続中	福島での試験は見送ったものの 概ね当初計画通り ○
超小型KURAMA	単体試験完了 ネットワークとの 組合せ試験完了	単体動作完了 ネットワークと組合せ動作確認 検出器の調整継続中	概ね当初計画通り 検出器のMPPC廃番に 伴うエネルギー帯域の 問題は解決可能 ○
自律型ネットワーク構築	規格選定と実証試験 機器との組み合わせ	ZETAを候補に選定 島根県での実証試験終了 超小型KURAMAとの組合せ	当初計画通りで 既設MPの予備回線として の利用可能性も見出す ◎
成果発表	ICALEPCS 2021	IRPA 15 保健物理学会53回研究発表会 原子力学会2020秋の大会 KURAMA研究会	コロナ禍でも開催のあつた 国内外の学会等で成果 発表を実施 ○

今回の成果の活用のあり方

既存モニタリング体制の補完と協調

平常時：LPWAで域内バックアップ通信網を構築

安価で小型、年単位での電池運用で設置場所を選ばない特徴を活かし、通信回線の多重化が必要な既設モニタリング機器のバックアップ回線としてメッシュ型LPWAを展開する。既設モニタリング機器の通信量はLPWAの帯域で余裕を持って確保可能。域内の山頂や高層ビルに基幹中継局を設置し、各機器は最寄りの基幹中継局に直接ないし中継局を介して接続する。



今回の成果の活用のあり方

既存モニタリング体制の補完と協調

緊急時：既設モニタリング機器の補完と機動的な展開

LPWAが基幹ネットワークの被災の補完をする。さらに量産化された小型軽量な可搬型モニタリングポストや超小型KURAMA-IIがLPWAネットワークを活用して機動的に展開される。LPWA網の切断時も柔軟かつ動的な自動経路選択機能を活用して臨時設置の中継局で臨機応変に補完する。

