



**平成29年度原子力規制庁
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究**

研究提案

**原子力事故時における近隣住民の
確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた
包括的個人内部被ばくモニタリングの確立**

**第1回成果報告会
平成30年2月26日**

**量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所
栗原 治(主任研究者)**

平成29年度 放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究
【重点テーマ】

⑤放射性ヨウ素等の迅速・高精度な内部被ばくモニタリング手法に関する研究

研究の背景等(公募要領より)

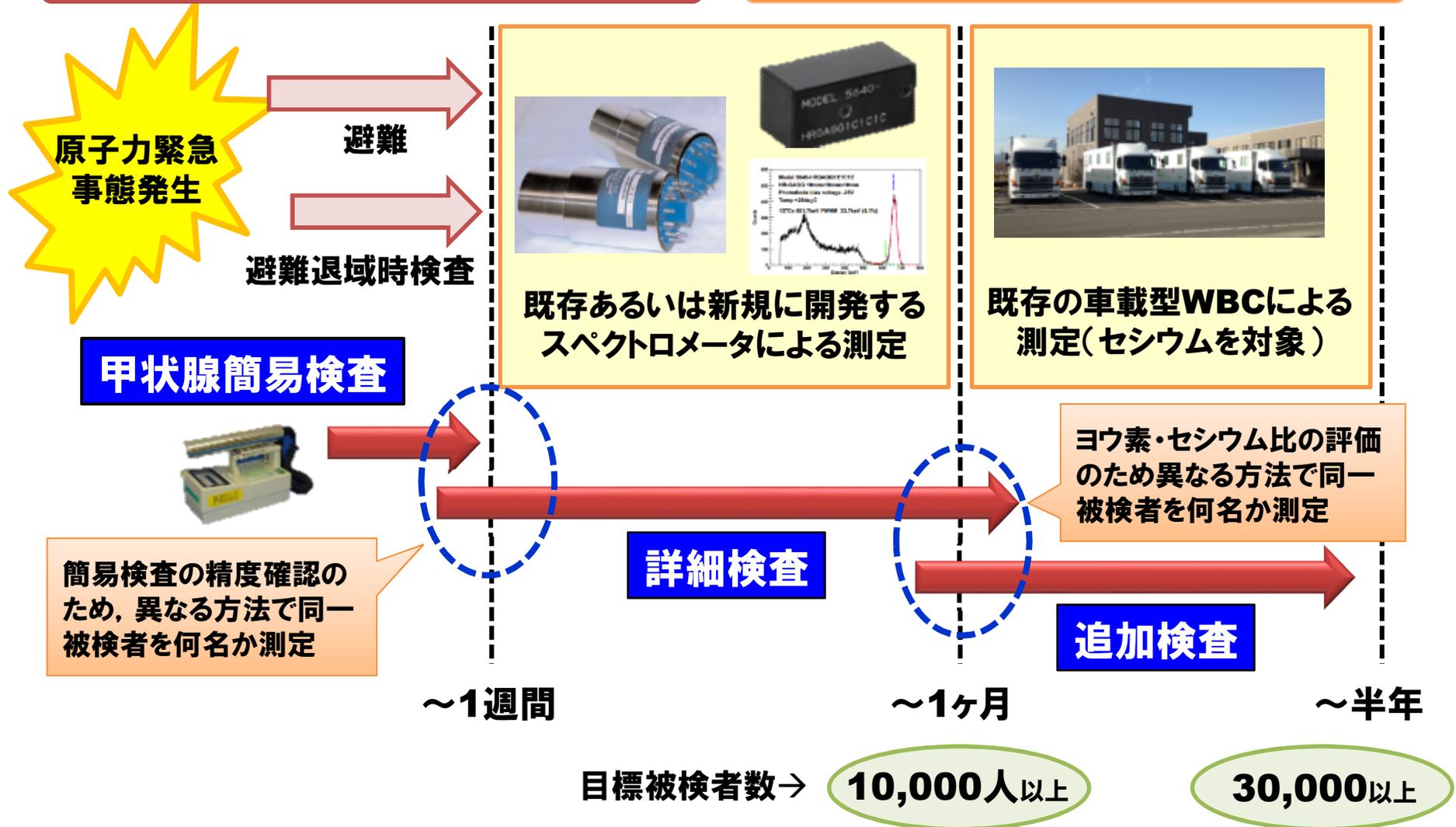
- 事故などの緊急時には、事故後早い段階において**できるだけ沢山の人を対象に精度の高い計測**により、内部被ばく線量評価を行う必要がある。
- 放射性ヨウ素の内部被ばく線量評価には、福島第一原子力発電所事故の経験から、摂取後早期の甲状腺被ばく線量測定にあたり、**甲状腺及び周囲組織の解剖学的な個人差や核種同定**等今後万が一の事故に対応する計測装置開発を含めた評価手法の確立が必要とされている。
- ついては、放射性ヨウ素の内部取込みに伴う甲状腺被ばく測定の精度向上のために、**高バックグラウンド環境に対応する小型、高感度、スペクトル分析**が可能な甲状腺モニタの開発が必要とされている。

福島原発事故で見出された技術的課題を克服し、後の線量再構築に資する信頼性の高い人の実測データを可能な限り多く取得する。
(測定技術のみならず、実行的な公衆の内部被ばくモニタリング手法を構築を目指す。)

提案する原子力災害時における個人モニタリング

緊急時段階(放射性核種の環境放出)

中期段階(環境放出が概ね収束)



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用

| 項目 | 平成29年度 | 平成30年度 | 平成31年度 |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト 開発を含む) | 資機材準備 応答試験 ソフトウェア試作 | 数値シミュレーション 応答試験 ソフトウェア改良 | 測定条件決定 ソフトウェア改良 |
| 新モニタの開発 | 試作器の製作 | 試作器の開発 | 実用機の開発 |
| マニュアル作成 (情報収集システムの 開発を含む) | 簡易検査見直し システム概念設計 海外調査 | 換算係数の整備 システム試作 海外調査 | マニュアル作成 システム改良 |
| 研修・ワークショップ | 3月予定 実務者会合 | 実務者会合 | 研修会 WS |

平成29年度のこれまでの主な進捗

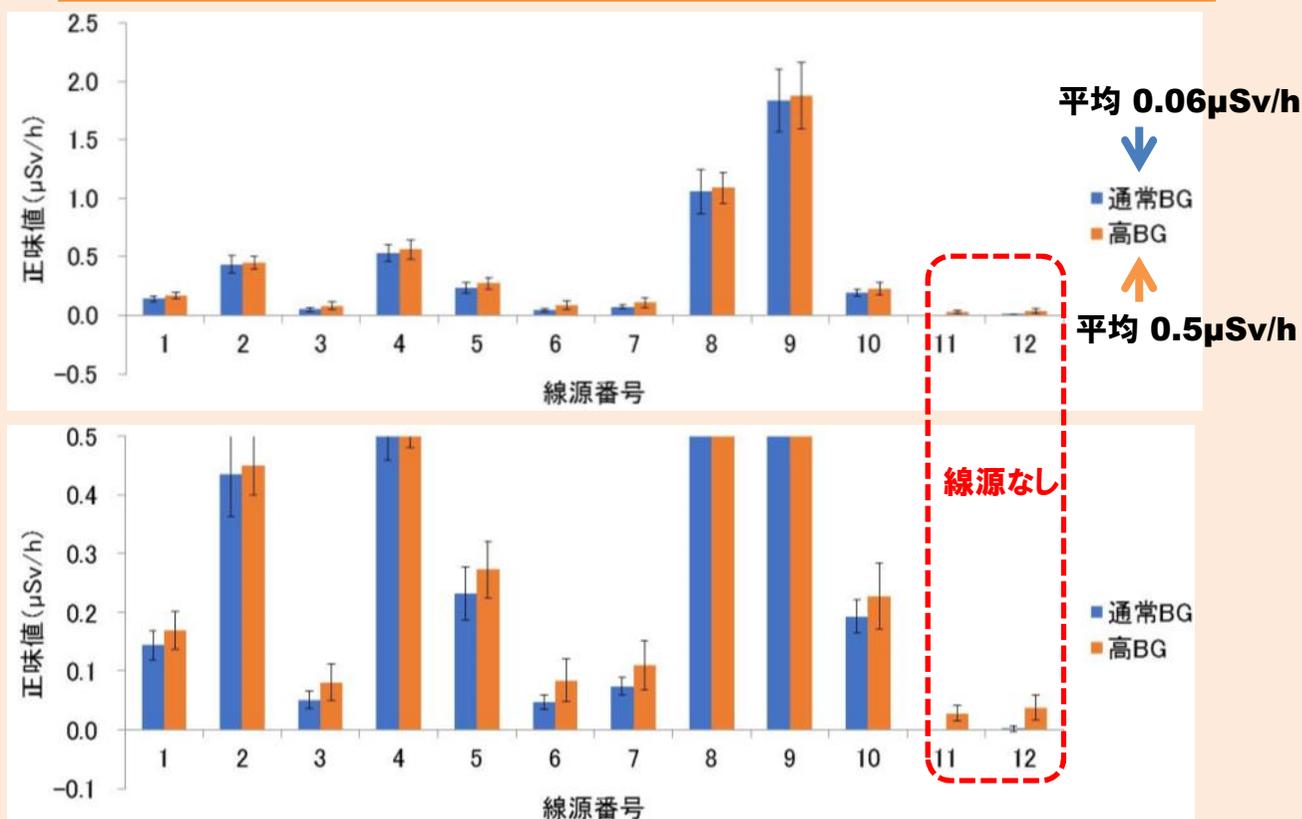
1. 甲状腺簡易検査の測定精度の評価とともに、スクリーニングレベルを導出した。
2. 新甲状腺モニタ及びソフトウェアを試作した。
3. 情報収集システムの具体的な仕様を検討するとともに、その概念設計を行った。

原子力災害時の初動対応の一つとして行われる簡易な放射線検出器 (NaIサーベイメータ)を用いた甲状腺被ばく検査法の精度検証



実践的な研修プログラムを立案
「甲状腺簡易測定研修(規制庁委託)」

専門人材育成研修に参加した受講生20名が2名1組となり、線源が収められたマネキン(全12体、内2体は線源無し)を測定



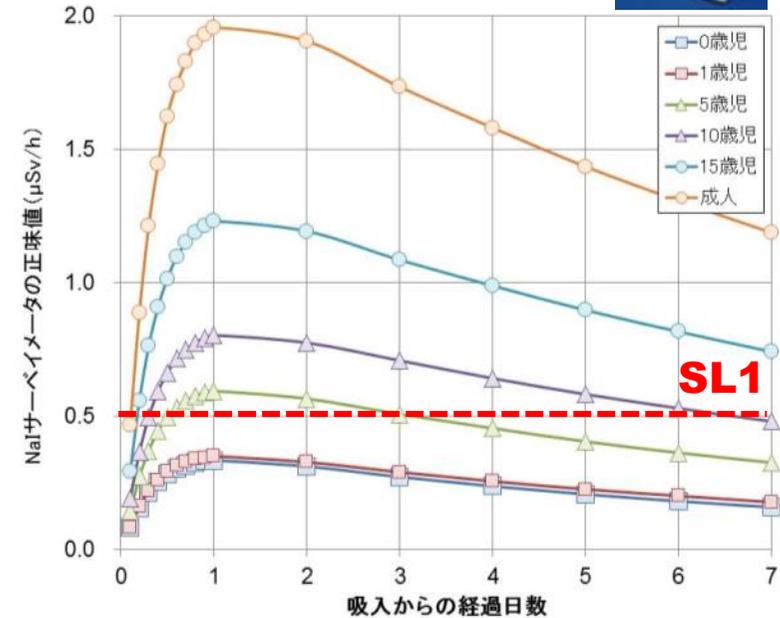
- 頸部の正味値が0.5 μ Sv/h程度以上であれば比較的信頼性のあるデータが取得できる。
- プローブ位置の標準化やサーベイメータ校正定数の個体間のばらつき等の課題抽出。

甲状腺(被ばく)簡易検査

目的に応じたスクリーニングレベル(SL)の設定(案)



- **SL1: 被ばく医療機関において診断等を必要とするレベル: 甲状腺吸収線量2Gyから導出 (IAEA GC)**
- **SL2: 詳細な甲状腺検査を必要とするレベル: 甲状腺等価線量100mSvから導出**



甲状腺等価線量100mSvに相当する NaI(Tl)サーベイメータの指示値 (急性摂取, ¹³¹Iのみ)

- **提案するSL**
SL1: 5 μSv/h, SL2: 0.5 μSv/h
- **SL2は乳児, 1歳児には適用できないが, 同伴者(親, 兄弟)の結果から判断 (新モニタで解決)**

表 10 甲状腺からの線量率に対する OIL8 の初期設定値

この OIL の初期設定値は甲状腺からの線量率に対するものであり、以下のように測定される必要がある: (a) 対象者の除染及び汚染着衣の脱衣後に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から 1~6 日後に、(c) 有効面積が 15 cm² 以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の前面の皮膚に接触させ、測定用のプローブを設置し、(e) バックグラウンド線量率が 0.2 μSv/h 未満の場所で実施。

| OIL8 ^a | 測定された人々への措置 |
|---|---|
| 被ばく後、1 から 6 日後に 甲状腺の前面の皮膚に接触させ バックグラウンド線量率に対する 超過値 | 即時: - 未服用であれば、ITB 剤服用を指示; - 不注意による経口摂取を抑制するよう指示; - 測定されたすべての人々を登録し、甲状腺線量率を記録する; さらに - OIL8 を超えた場合、2.3 節と一貫性のある医療スクリーニングを実施。 |
| 0.5 μSv/h ^c 年齢 ≤ 7 歳 | 数日以内: - 参考文献[30]に従って、医学検査や診察及び追跡調査が正当とされるかどうか決定するため OIL8 を超えた甲状腺線量率の人々の線量を推定。 |
| 2 μSv/h ^c 年齢 > 7 歳 | |

a カンパ線量率測定器の検出部の位置は甲状腺上で皮膚の近傍。
 b 手を洗浄するまで飲食、喫煙をしないことや手を口から離れた場所に置いておくことを助言。これは、OIL 値を超過したかどうかにかかわらず、汚染のおそれがあるならば実施される必要がある。
 c バックグラウンド線量率に対する超過値。



OIL8の根拠となる包括的判断基準は、甲状腺等価線量で100~200 mSv

甲状腺中放射性ヨウ素放射能換算係数(TCS-172)



ORINSファントム
Ref. ORINS-19 Thyroid radiiodine uptake measurement (1959)

ANSIファントム
Ref. ANSI N44.3-1973
Ref. ANSI/HPS N13.44-2014

換算係数の実験評価 (校正済みの6台のサーベイメータを用いて実験)

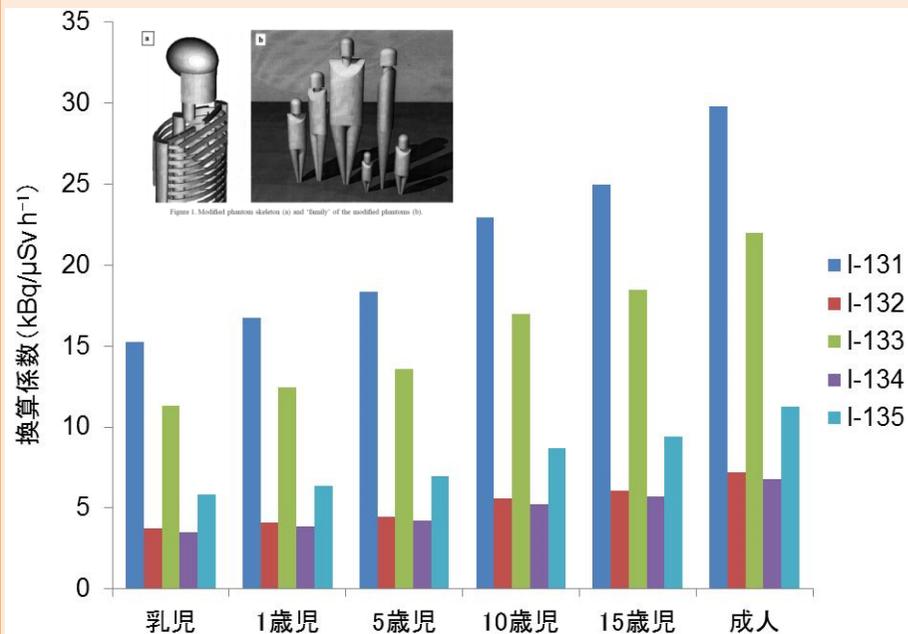
ANSIファントムに対する換算係数(kBq/μSv h⁻¹)

| 距離(cm) | 0cm | 1cm | 5cm | 10cm |
|--------|------|------|-------|--------|
| I-131 | 22±2 | 34±2 | 113±6 | 264±9 |
| Ba-133 | 20±2 | 33±2 | 109±4 | 257±13 |
| Cs-137 | 17±2 | 28±2 | 92±4 | 228±11 |

ORINSファントムに対する換算係数(kBq/μSv h⁻¹)

| 距離(cm) | 0cm | 1cm | 5cm | 10cm |
|--------|------|------|-------|--------|
| I-131 | 33±2 | 46±3 | 125±5 | 286±26 |
| Ba-133 | 31±2 | 44±2 | 122±3 | 273±12 |
| Cs-137 | 27±2 | 38±2 | 104±6 | 238±14 |

数値シミュレーションによる換算係数の評価



年齢別数学ファントム(Ulanovsky)に対する換算係数(kBq/μSv h⁻¹) ※検出器-頸部表面距離:5mm



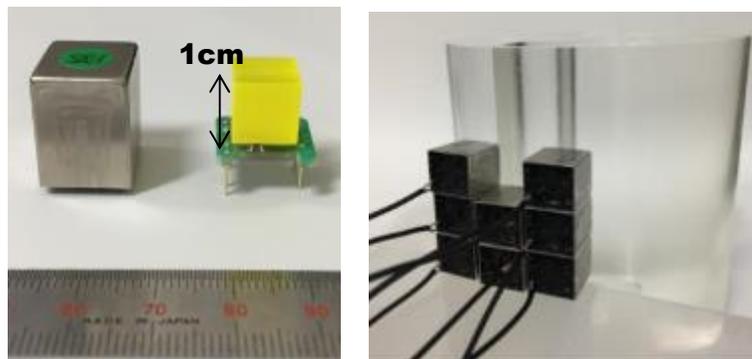
IRSNで開発された年齢別ファントムは製作発注
(納品され次第、試験を実施)

甲状腺詳細検査のための新モニタ開発

● 複数のGAGG検出素子を用いた新モニタの提案

福島原発事故において見出された課題

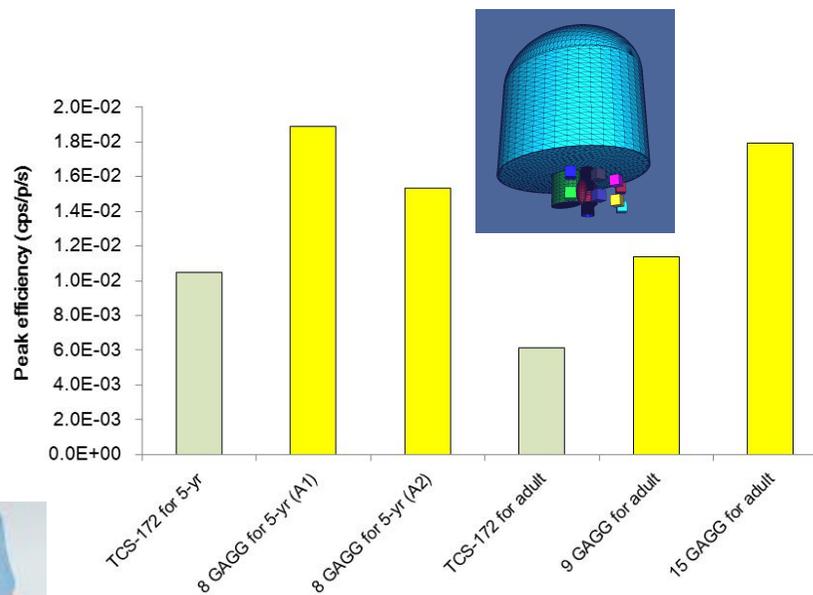
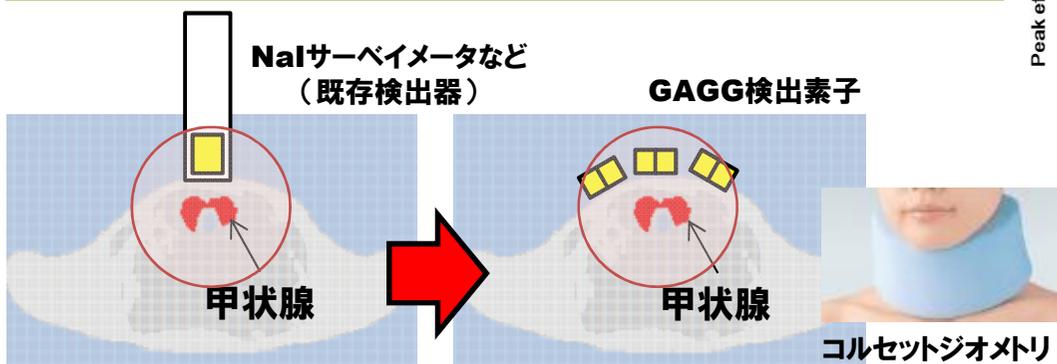
- 周辺環境中の着目核種の影響
- 小児を含む幅広い年齢群を対象とした検査



写真左: GAGG結晶(+SiPM)とケーシング
写真右: GAGG検出素子をファントムに配置

解決策

- 複数のGAGG検出素子を用いた最適配置
- 装置自体の小型化による遮へい体の軽量化



新モニタとNaI(Tl)サーベイメータの感度比較
(数値シミュレーション)

甲状腺詳細検査のための新モニタ開発

9

● 新モニタ用ソフトウェアの試作

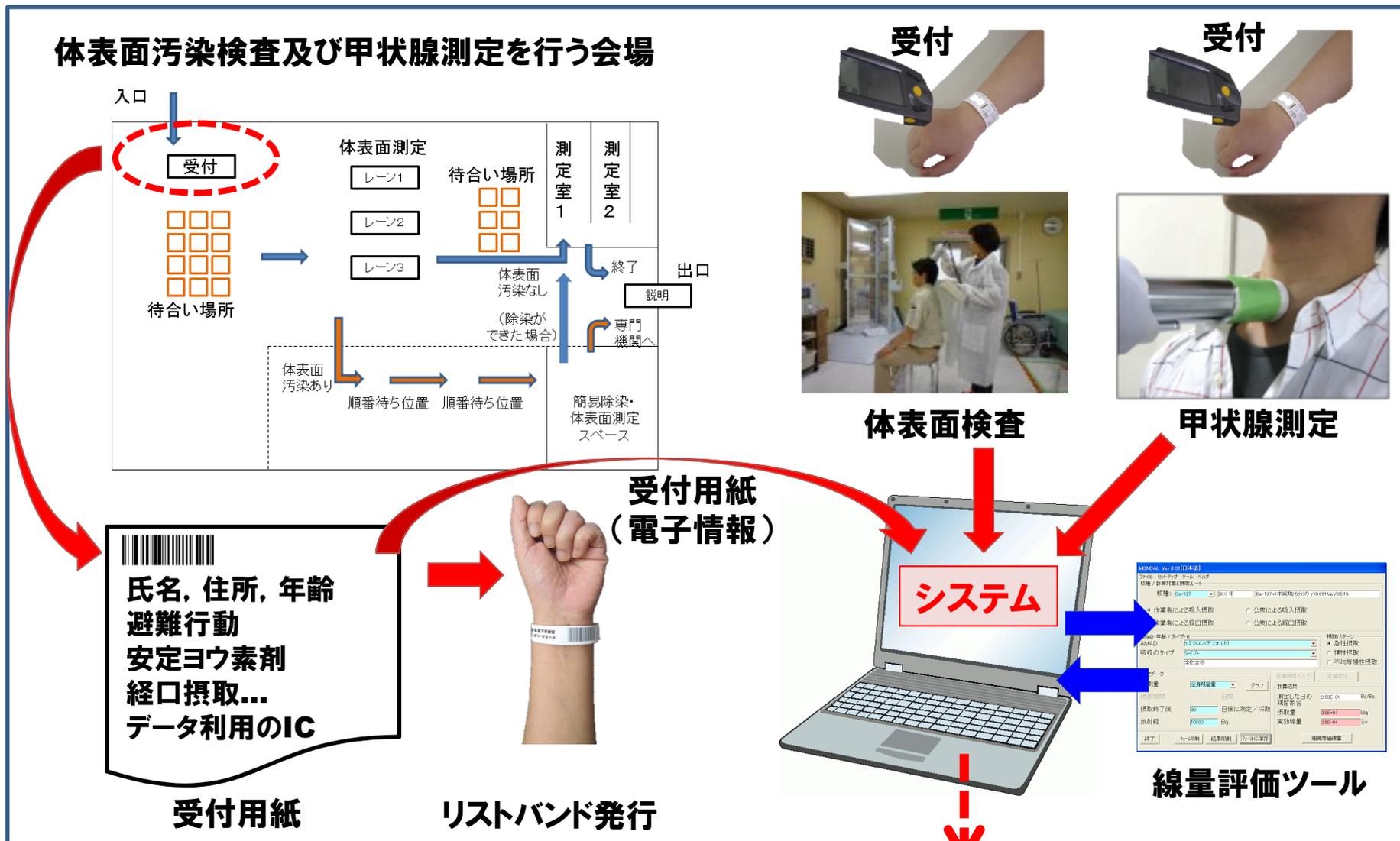
The screenshot displays the '甲状腺測定・核種分析' (Thyroid Measurement & Nuclide Analysis) software interface. It includes a menu bar (File, MCA Operation, Calibration, Nuclide Analysis), a control panel with checkboxes for '接続状態のLOCK' and 'MCA起動' (set to '使用可能'), and a 'バックグラウンドテスト測定条件' (Background Test Measurement Conditions) section with fields for 'BG基準値' (3890.861 cps), '許容範囲' (10.0%), and '測定時間' (180 s). A '測定開始' (Start Measurement) button is present with a progress indicator from 0% to 100%. The 'MCAコマンド' (MCA Command) panel contains buttons for PRESET, START, STOP, ERASE, and SAVE. The '測定開始時刻' (Measurement Start Time) is 2018/02/02 16:23:18, and the 'ステータス' (Status) is '停止中' (Stopped). Other parameters include 'ライブタイム' (60.76 s), 'リアルタイム' (62.00 s), 'プリセット (LIVE)' (60 s), and '印加電圧' (300 V). The 'スペクトル' (Spectrum) field shows 'C:\QstWork\Data\2018\02\02\123-002-ALL.cnt'. The '【被検者情報】' (Patient Information) section lists ID 123, comment 'test', and measurement details. The '【核種分析結果】' (Nuclide Analysis Results) table is shown below.

| No. | ピーク (ch) | ネットカウント (counts) | 検出限界 (counts) | 核種 | エネルギー (keV) | 放射能 (Bq) |
|-----|----------|------------------|---------------|----|-------------|----------|
| < | | | | | | |
| > | | | | | | |

The main display area shows a spectrum plot with 'Counts' on the y-axis (log scale from 1.0E+1 to 1.0E+4) and 'Channel' on the x-axis (0 to 1023). An inset window titled 'ピーク分析' (Peak Analysis) shows a zoomed-in view of a peak at approximately 212 channels, with a list of detected peaks and their parameters. The '検出器選択' (Detector Selection) dropdown is set to '検出器1'.

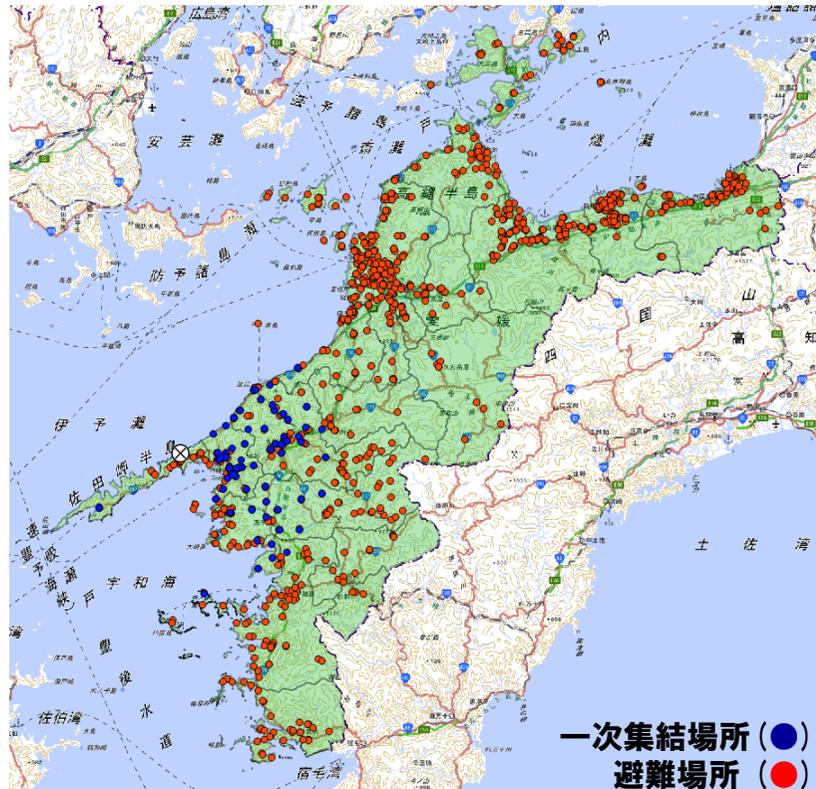
新甲状腺モニタ(GAGG)の制御及び波高スペクトルの解析処理

- 後の線量評価に必要となるデータ・情報を散逸することなく確実に収集



国, 自治体等の放射線防護対応の意思決定機関へ

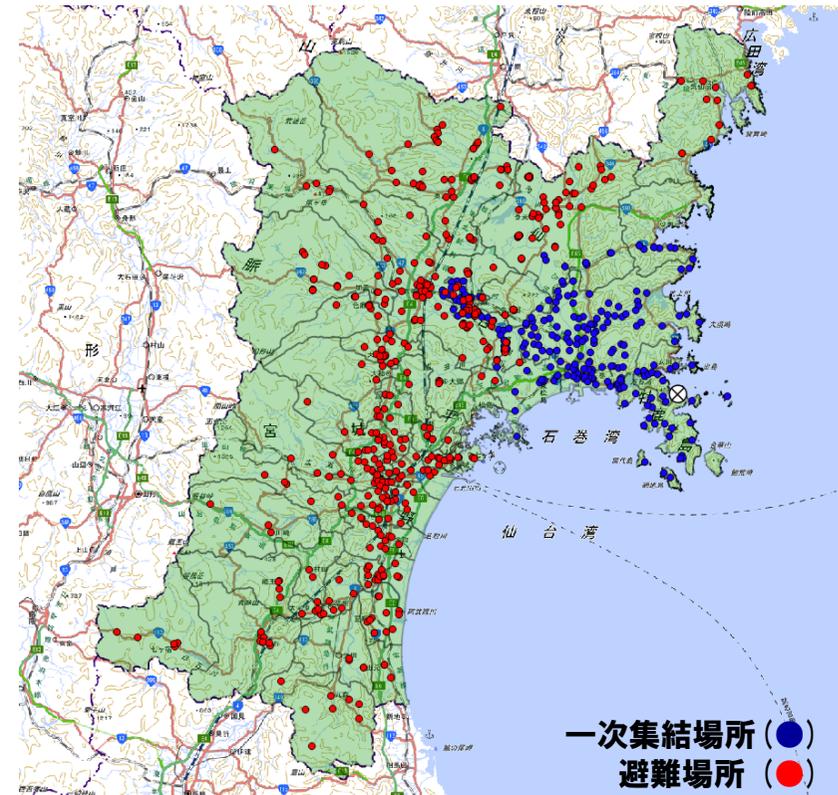
原子力災害時広域避難計画の調査



伊方サイトにおける区分毎の避難人口内訳

| 区分 | 人口 | | | | | | |
|-------|-----|---------------|--------------|---------------|----------------|--------|---------|
| | 新生児 | 1ヶ月以上 3歳未満 | 3歳以上 7歳未満 | 7歳以上 13歳未満 | 13歳以上 40歳未満 | 40歳以上 | 小計 |
| PAZ | 3 | 110 | 146 | 235 | 1323 | 3970 | 5787 |
| UPZ | 60 | 2,387 | 3,518 | 5,761 | 29,534 | 81,576 | 122,836 |
| Total | 63 | 2,497 | 3,664 | 5,996 | 30,857 | 85,546 | 128,623 |

PAZ: 伊方町, UPZ: 伊方町, 八幡浜市, 大洲市, 西予市, 宇和島市。伊予市, 内子町



女川サイトにおける区分毎の避難人口内訳

| 市町名 | PAZ | PAZに 準ずる区域 | UPZ | UPZ外 | 計 |
|------|-------|---------------|---------|-------|---------|
| 女川町 | 771 | 0 | 6,308 | 0 | 7,079 |
| 石巻市 | 611 | 2523 | 146,322 | | 149,456 |
| 登米市 | 0 | 0 | 10,215 | | 10,215 |
| 東松島市 | 0 | 0 | 36,836 | 3,289 | 40,125 |
| 涌谷町 | 0 | 0 | 831 | | 831 |
| 美里町 | 0 | 0 | 116 | 5,094 | 5,210 |
| 南三陸町 | 0 | 0 | 1,618 | | 1,618 |
| 計 | 1,382 | 2523 | 202,246 | 8,383 | 214,534 |

避難住民の甲状腺被ばく検査を実施する候補施設の検討材料に活用

1. 研究代表者による自己評価

| 評価の視点 | 自己評価 | コメント |
|---------------------------------|------------|--|
| 評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか | 2. 概ね計画どおり | <ul style="list-style-type: none"> ● 仏IRSNが開発した年齢別ファントムは3月上旬に納品予定。到着後、速やかに実験を行う。 ● 海外調査は3月に予定(訪問先: Health Canada) |
| 今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か | 1. 必要ない | 概ね計画どおり研究を遂行できると見込まれるため。 |

2. 分担研究者による自己評価: 該当せず

評価時までの研究成果

- 本資料で示したとおり。
- 本研究提案に関連する論文が受理

Kurihara et al. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys. (accepted Jan. 28, 2018).

| 項目 | 平成30年度 | 具体的内容 |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト開発を含む) | 数値シミュレーション 応答試験 ソフトウェア改良 | <ul style="list-style-type: none"> ● 数値ファントムを用いて種々の検出器の応答を評価する。 ● IRSNの年齢別ファントムを用いて種々の検出器の応答を実験的に評価する。 ● 実用化に向けたソフトウェアの改良を進める。 |
| 新モニタの開発 | 試作器の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ● GAGG検出素子の最適な配置を決定する。 ● 支持機構や遮へい体など、実用機に向けた仕様の検討を進める。 |
| マニュアル作成 (情報収集システムの開発を含む) | 換算係数の整備 システム試作 海外調査 | <ul style="list-style-type: none"> ● I-131以外の短寿命核種に対する各検出器の換算係数を整備する。 ● H29年度の概念設計に基づき、情報収集システムを試作する。 ● 諸外国の原子力災害時公衆モニタリングについて調査を行う。 ● 簡易甲状腺検査マニュアル(改訂版)を研修会に活用し、その有効性を評価する。 |
| 研修・ワークショップ | 実務者会合 | <ul style="list-style-type: none"> ● 原子力機構や大学等の原子力災害時の実務対応について情報交換を行う。 |



ご清聴有難うございました