



平成30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

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

成果報告会
平成31年2月15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)

研究概要

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。

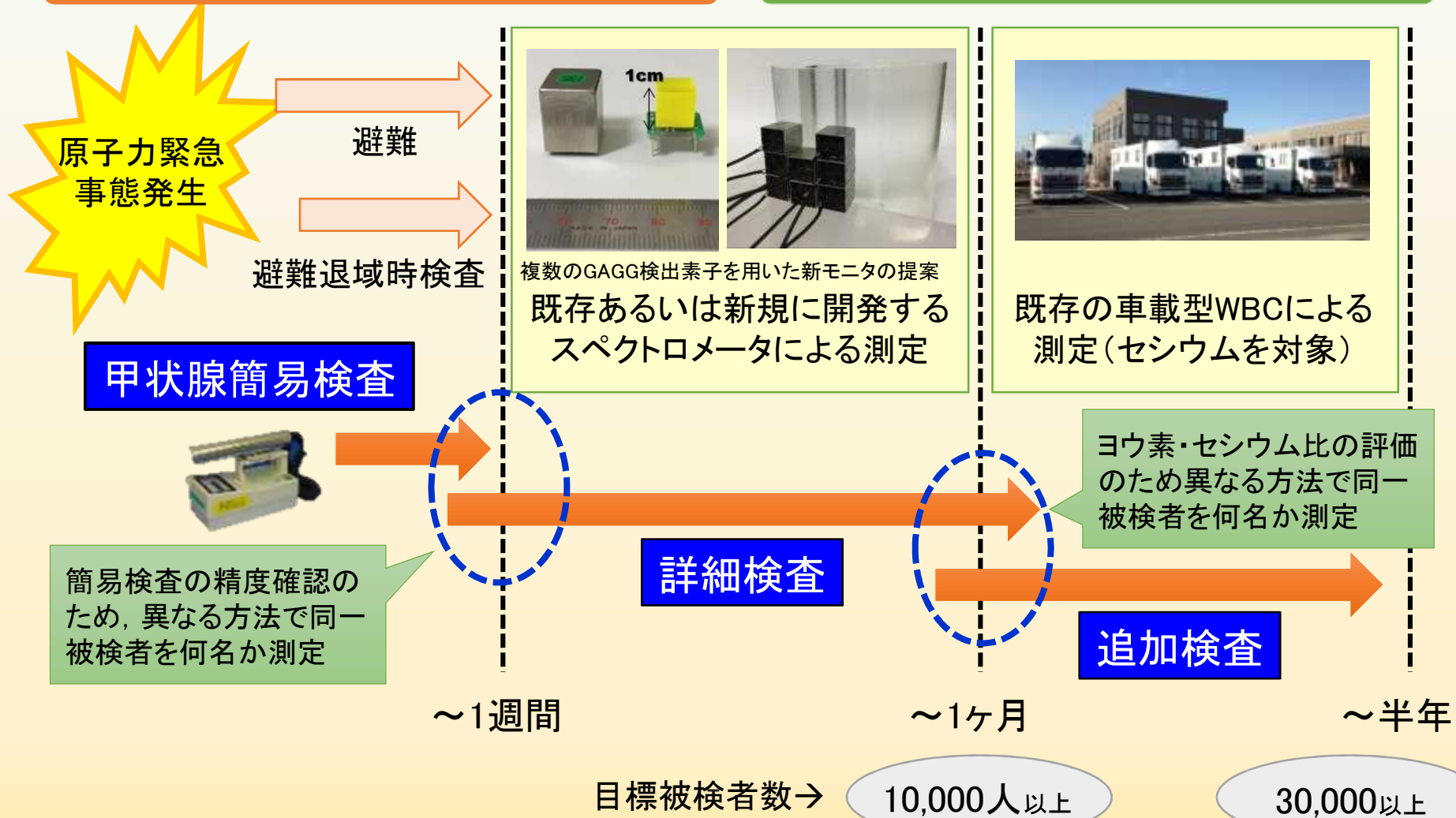
本研究の目標

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の個人モニタリング
























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

ロードマップ及び平成30年度の達成状況

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
1. 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト開発を含む)	  	  	 
2. 新モニタの開発			
3. マニュアル作成 (情報収集システムの開発を含む)	  	  	 
4. 研修・ワークショップ		 第1回: 2018/6/11@QST-NIRS 第2回: 2018/10/2@JAEA 第3回: 2019/1/28@QST-NIRS	 

【平成30年度の達成状況】 概ね計画通りに進捗

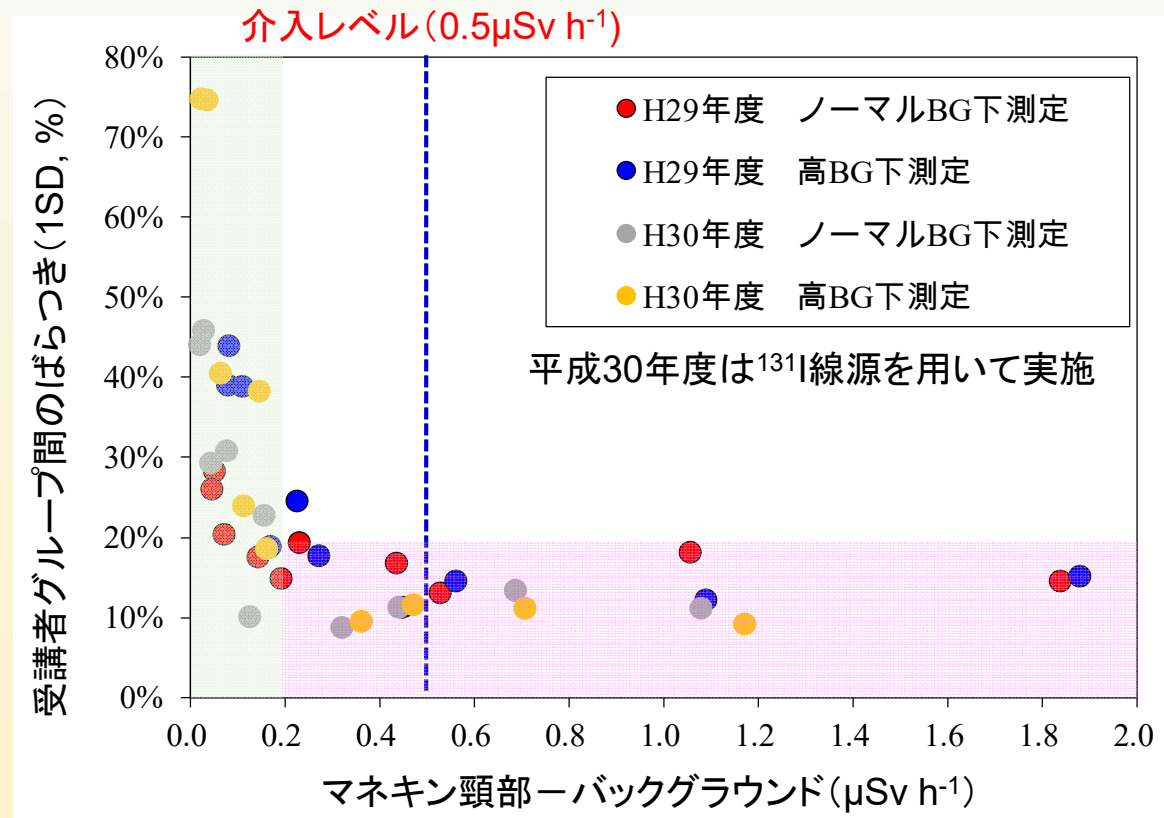
1. 新モニタ試作機の開発を進めるとともに、支援システムの改良を行った。
2. 既存検出器を用いた甲状腺中ヨウ素の測定法に対する評価・検証を行った。

進捗① 甲状腺簡易検査の実証試験(項目1)

原子力災害時における公衆の放射線防護の1つとして行われるNaIサーベイメータを用いた甲状腺簡易検査の課題を抽出するとともに、精度検証を行う。



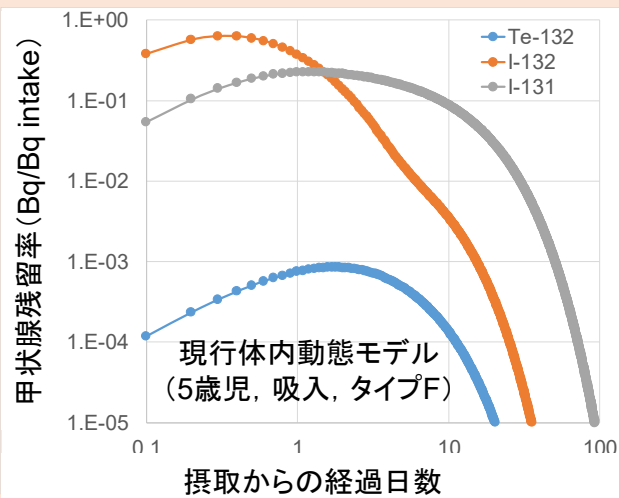
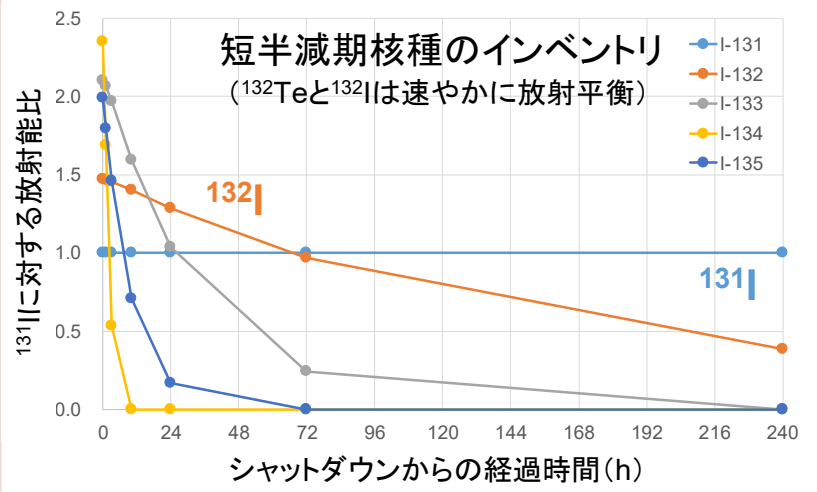
数MBq程度の密封線源を用いて高BG環境($\sim 0.5\mu\text{Sv h}^{-1}$)を模擬



- 比較的高いBG環境($\sim 0.5\mu\text{Sv h}^{-1}$)においても、正味値が $0.2\mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上では測定者の手技によらず安定した結果が得られる。正味値が $0.2\mu\text{Sv h}^{-1}$ 未満では、サーベイメータの指示値の統計変動や測定者間の読み方の違いが影響し、ファクター2程度のばらつきを生じる。**OIL8以上は十分に識別できる。**
- マネキンを用いた甲状腺簡易検査の研修プログラムを開発(Yajima et al. 2018)。これまでに2回の国内の原子力災害対応者向け研修と1回の海外研修を実施。**2月7日には福島県立医科大学で出張研修予定。**

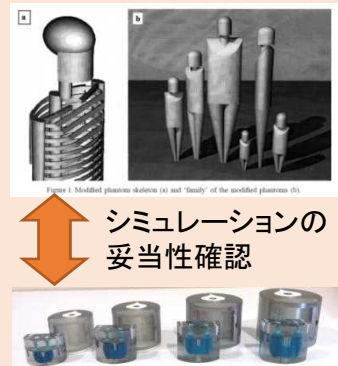
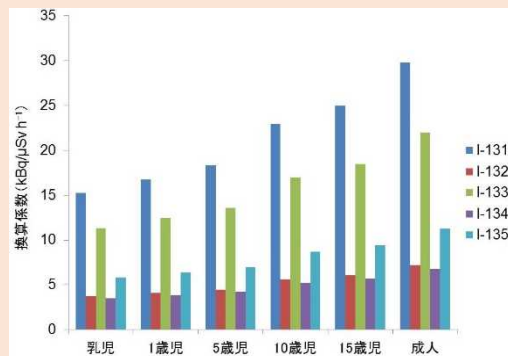
進捗② 甲状腺簡易検査の運用検討(項目1)

甲状腺簡易検査に用いられるNaI(Tl)サーベイメータ(TCS-171/172)の甲状腺中ヨウ素に対する年齢別換算係数と¹³¹I以外の短半減期核種の影響を考慮した介入レベルの導出



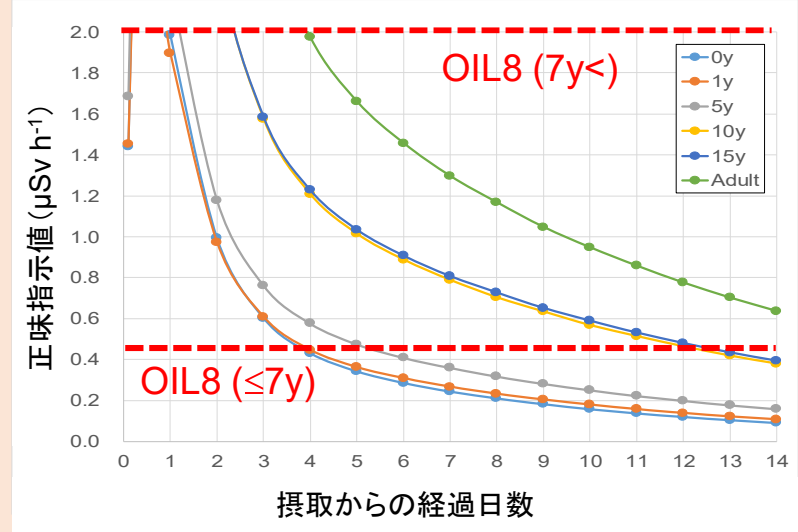
¹³²I自体よりも,
¹³²Teから生成
される¹³²Iの方
が影響

新OIRモデルで
も計算実施



シミュレーションの
妥当性確認

シミュレーションで求めた換算係数



甲状腺等価線量100mSvに相当する¹³¹I(元素状)と等量の¹³²Teの摂取があった場合の指示値

- IAEAが提案する甲状腺被ばくの介入レベル(OIL8)は本邦の甲状腺簡易検査に概ね適用可

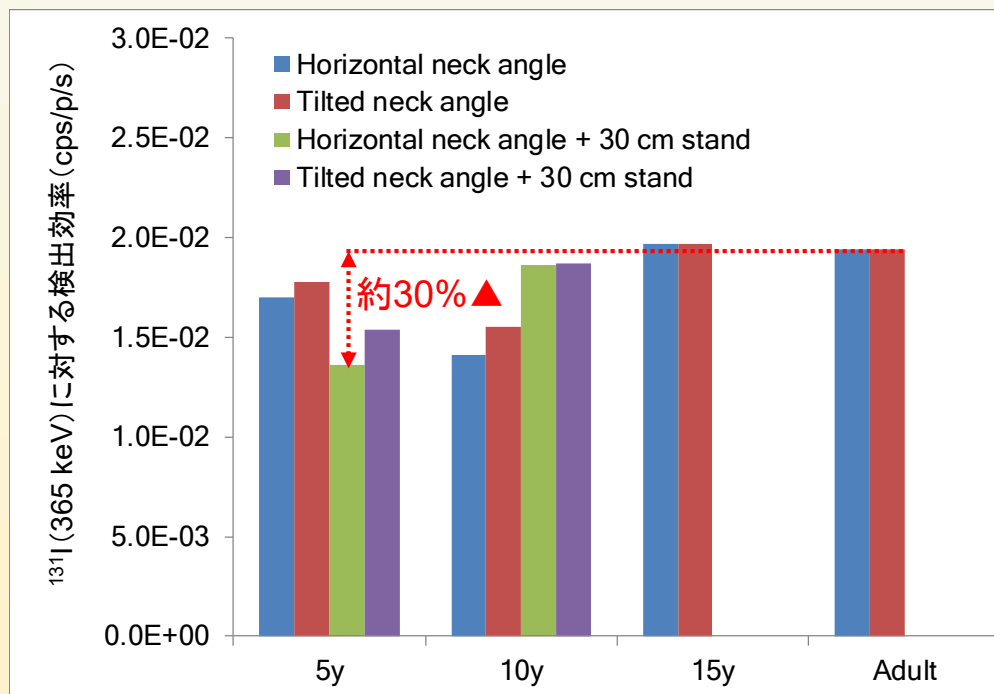
進捗③ WBCによる甲状腺中¹³¹I測定(項目1)

F1事故以降, 福島県を中心に広く導入・運用されているWBC(FASTSCAN)を活用して, 住民の甲状腺中¹³¹Iの追加測定を行う。



車載型WBC 於)福島市保健福祉センター

年齢別数学ファントムを用いたシミュレーションにより検出効率を評価



甲状腺中¹³¹Iに対するFASTSCANの検出効率(両検出器の合算)

5歳児 10歳児 15歳児 成人

5歳児 (30cm台) 10歳児 (30cm台)

現行運用上も130cm以下の被検者は30cm台上で測定

- 体格差によらず比較的安定した甲状腺中¹³¹Iの定量ができる, また, 上下の検出器の計数の違いにより, 体表面汚染の弁別が可能。

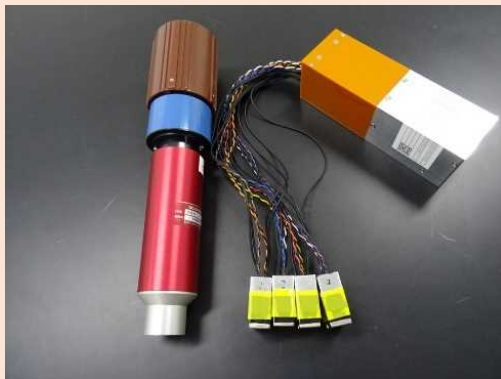
進捗④ 新モニタ試作機の性能試験(項目2)

昨年度試作した新モニタの性能を年齢別頸部ファントムを用いて評価



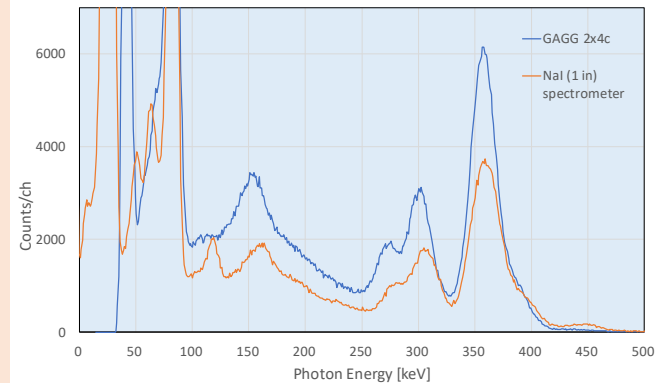
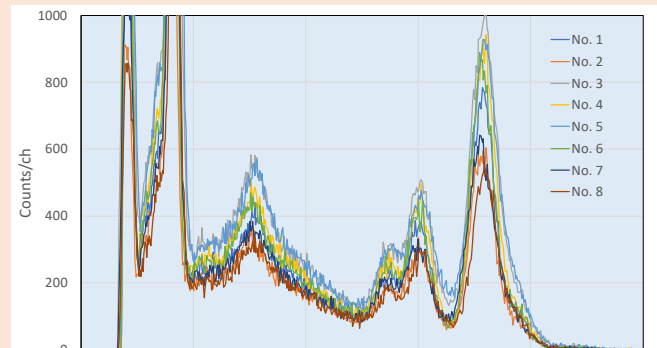
TCS-171/172プローブ

新モニタ開発のモチベーション
(特に乳幼児, 高BG)



既存検出器(1インチNaI)【左】
と新モニタ(GAGG)【右】

波高スペクトル



¹³³Ba線源, 30分間測定

MDA(Bq)の比較

ファントム	1"NaI	新-配置1	新-配置2
成人	45	35	31
5歳児	27	23	19

新モニタ試作機の検出素子配置の検討



配置1(甲状腺形状)



5歳児ファントム



成人ファントム

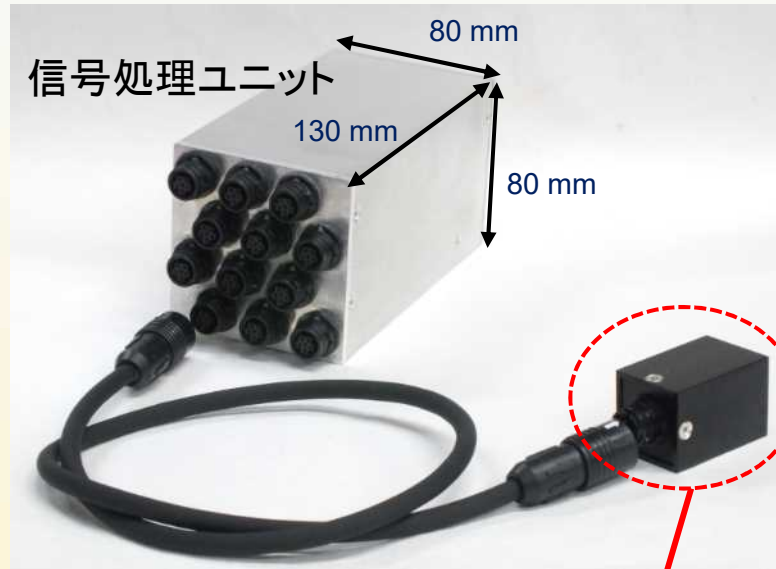


配置2(2x4密着)



- 新モニタ試作機のエネルギー分解能及び検出下限値を評価(既存NaI検出器よりも良好)

進捗⑤ 新モニタ改良機の製作(項目2)



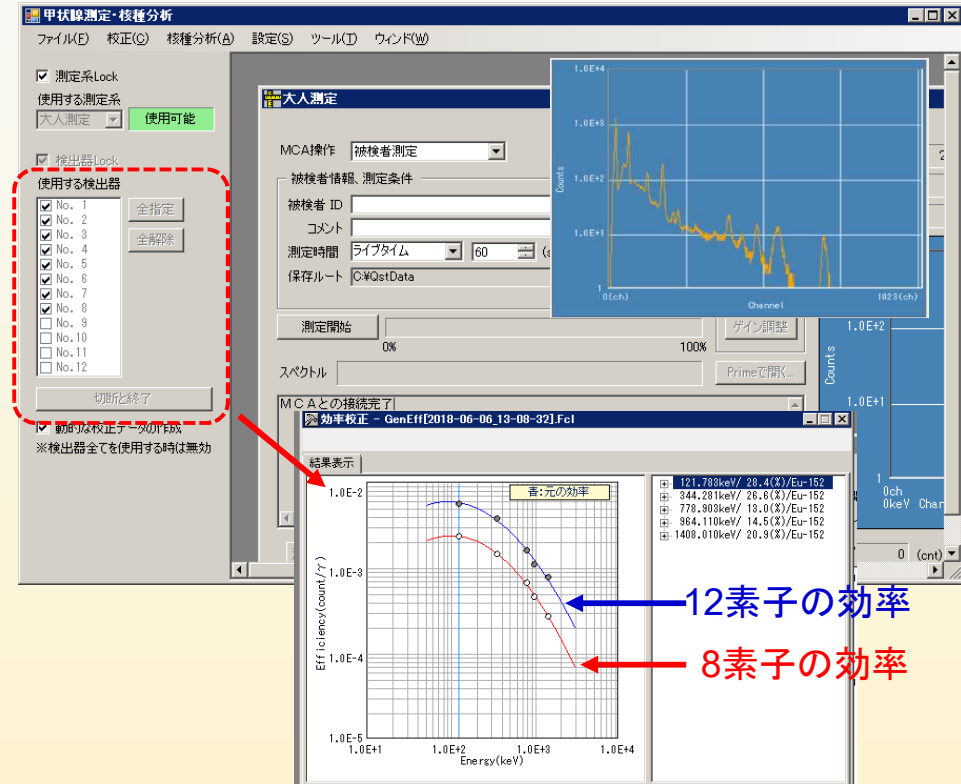
GAGG検出素子



結晶サイズ: 10 x 10 x 10 mm³, ケーシング外寸: 20 x 20 x 40 mm³

改良点

- ✓ 信号ケーブルの強度向上(集約処理)
- ✓ ケーシングの光漏洩対策
- ✓ 検出素子の増結(8素子→12素子)



改良点

- ✓ 選択した検出素子アレンジメントに対応した校正ファイル選定機能追加
- ✓ 測定条件に応じたデータ入力, MCA制御
- ✓ 自動ゲイン調整機能追加
- ✓ 核種同定機能の強化

- 国内放射線計測メーカーの技術力を結集し, 新モニタ改良機の製作を実施(年度末に性能試験)

進捗⑥ 情報収集支援システムの製作(項目3)

原子力災害後の公衆の線量再構築に用いる情報を効率的に散逸することなく収集する。

情報収集システムの入カデータとなる避難者検査記録カード

作成日	20 年 月 日	原子力災害時 避難者検査記録カード	個人識別ID
検査場			

1. 受検者登録情報		
① (ふりがな) 氏名	② 生年月日 年 月 日	③ 性別 男・女
④ 住所		

2. 検査結果 (測定担当者記入欄)			
① 体表面汚染検査			
測定姓名:	測定員:	記録員:	
管理番号:	(測定場所の空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$)		
BG:	cpm		
(前面)	(背面)	部位 測定結果 cpm	
右 左	左 右		
表面汚染: 有・無			
除染実施: 済み・未実施			
甲状腺検査時汚染			
: 有・無			
② 甲状腺測定 簡易検査 (測定機器: NaIサーベイメータ($\mu\text{Sv/h}$) ・ スペクトロメータ(計数値))			
測定姓名:	測定員:	スペクトロメータによる測定の場合	
管理番号:	記録員:	測定時間:	
(測定場所の空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$)	スペクトル名:		
結果	大腿部 (被検者BG)	甲状腺部	その他: ビークチャンネル及び領域(cph)等
1			
2			
3			
備考			

3. 避難行動調査				
① 避難準備指示、屋内退避指示、避難指示を受け取った場所と、その時の屋内・屋外滞在の別をご記入ください。 避難準備指示: 自宅・自宅外(場所・住所) / 屋内・屋外 屋内退避指示: 自宅・自宅外(場所・住所) / 屋内・屋外 避難指示: 自宅・自宅外(場所・住所) / 屋内・屋外				
② 避難を開始した日時をご記入ください。(月 日 :)				
③ 避難時に同行者(一緒に行動した人)がいた場合、家族・その他別に代表者のお名前と人数をご記入ください。 家族: 代表者()・人数(人) / その他: 代表者()・人数(人)				
④ 避難開始から避難完了までの避難経路(行動、移動手段、期間、場所)を教えてください。				
	行動	移動手段	期間	場所(移動元・先、滞在)
1	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
2	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
3	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
4	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
5	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
6	移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :	
⑤ 避難中の出来事や気づいた点があればご記入ください。				

4. 安定ヨウ素剤	
① 安定ヨウ素剤*を服用しましたか? はい・いいえ * : ヨウ化カリウム(mg), ヨウ化カリウム錠(錠)	
② ①で「はい」の場合、服用回数、服用時期、日時、服用量を教えてください 服用回数:	
1回目	服用時期: 避難前・避難後 服用日時(月 日 :) 服用量: mg・錠
2回目	服用時期: 避難前・避難後 服用日時(月 日 :) 服用量: mg・錠
3回目	服用時期: 避難前・避難後 服用日時(月 日 :) 服用量: mg・錠

5. 食事状況	
① 発災後から現在まで、摂取制限指示のあった食品等を摂取しましたか? : はい・可能性あり・いいえ	
② 発災後から現在まで、放射能汚染の可能性のある食品等を摂取しましたか? : はい・可能性あり・いいえ	
③ ①②で「はい」「可能性あり」を選択した方は、その状況について詳しく教えてください	

6. 個人情報利用の許諾	
本記録カードの記載内容は、個人特定可能な情報を除いて、放射線による被ばく線量推計または推計手法の開発等にかかわる研究に用いることがあります。上記の情報利用に同意して下さる方は自筆(未成年者の場合は保護者)による署名をお願いします。	
氏名(自筆)	
ご協力ありがとうございました。	

1. 被検者情報

3. 避難行動情報

2. 体表面検査

4. 安定ヨウ素剤

5. 食事状況

6. 個人情報
利用の許諾

甲状腺測定を行う会場の受付にて被検者に配布し、測定後にコピーを収集。

進捗⑦ 情報収集支援システムの製作(項目3)



1. ログイン画面



2. 被検者情報・検査データ登録



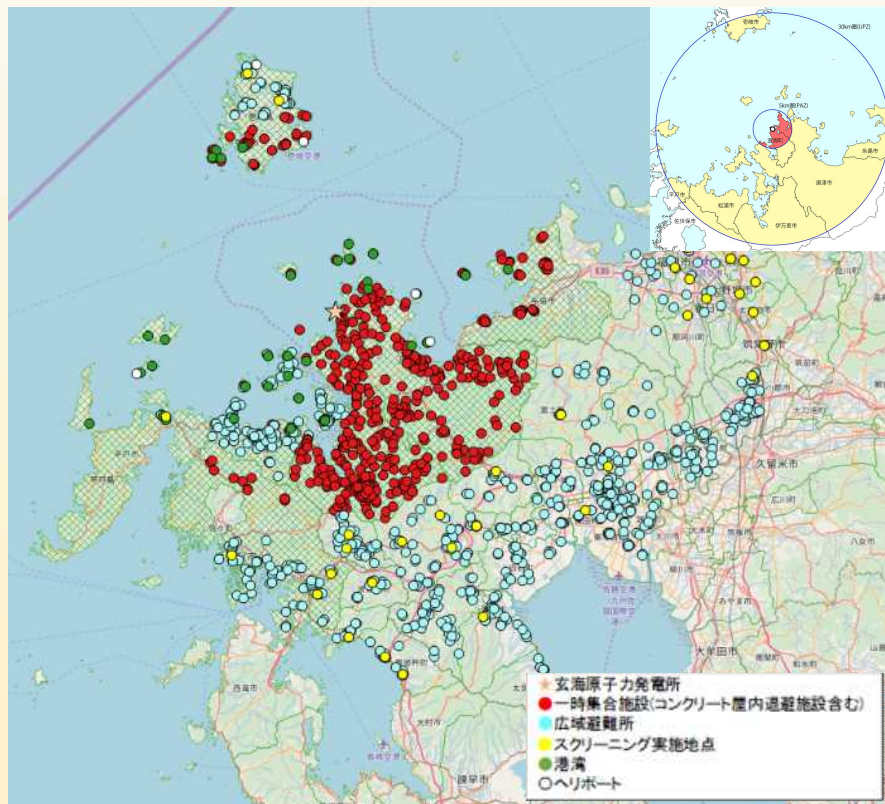
各サイトの避難計画にある避難所情報を元に避難経路を別画面で可視化

3. 避難行動情報登録

避難者の検査データの一元管理と放射線防護対策の立案に有用

進捗⑧ 広域避難計画の調査(項目3)

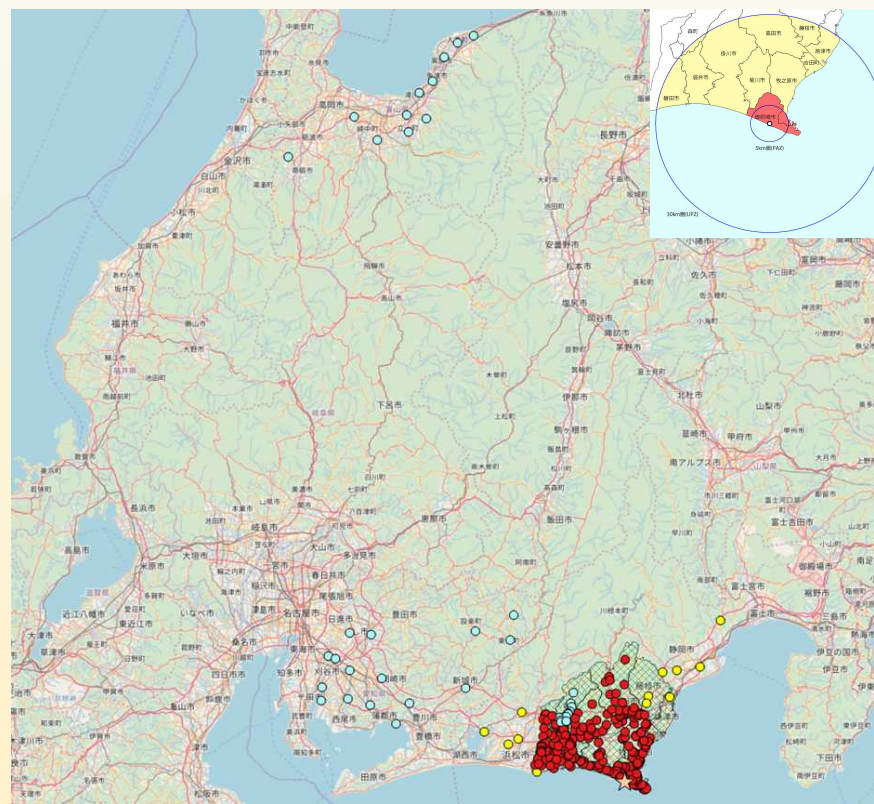
各サイトの原子力災害広域避難計画を参考に、各自治体の近隣住民の人口や避難経路等に関する情報をデータベース化し、情報収集支援システムに格納する。



玄海サイト

(PAZ圏内:8,126名, UPZ圏内:254,700名)

※平成28年3月または4月時点



浜岡サイト

(PAZ圏内:46,272名, UPZ圏内:889,223名)

※平成30年4月時点

甲状腺被ばく検査の会場や運用に関する検討のための基礎情報とする。
(女川, 伊方, 玄海, 浜岡, 川内, 大飯, 高浜の各サイトについてデータベース化完了)

進捗⑨ 海外調査(項目3)

原子力大国フランスの原子力防災体制及び対応支援機関(IRSIN)を調査



F1事故の経験を踏まえ2016年に緊計計画区域(EPZ)が10kmから20kmに拡大。

EPZ内の緊急時防護措置は、各地域の県知事によってオフサイト緊急時計画(PPI)として策定

→ 公衆に対する防護措置を講じる基準

防護措置	防護措置を講じる目安
屋内退避	実効線量10 mSvを超える可能性がある場合
避難	実効線量が50 mSvを超える可能性がある場合
安定ヨウ素剤の服用	甲状腺等価線量が50 mSvを超える可能性がある場合

国家対応計画(NPP)において定義される事態基準

事態	状況の概要
0: 不確かな状況	事故の特徴(規模や性質)、環境中へのRIの放出の有無などが不明である。
1: 即時かつ短期間のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から1時間以内に開始され、数時間以内で終了する。数km以内の範囲において中程度の影響が及ぶ可能性がある。
2: 中長期のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から6時間以内に開始され、数日から数週間にわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
3: RIの放出が長期間継続する状況	RIの放出までに事故発生から6時間以上が経過し、数日から数週間にわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及び可能性がある。
4: 輸送中のRIが放出されるおそれのある状況	フランス国内の陸路又は水路におけるRI(固体、液体又は気体)の輸送中の事故
5: 国外で発生した事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性のある状況	原子力施設やRIの輸送中におけるフランス国外での事故がフランスに大きな影響を与える可能性がある。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。
6: 国外で発生した事故がフランスに僅かな影響を及ぼす状況	フランス国外での事故がフランスに僅かな影響を及ぼす。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。
7: 沿岸での事故によって放射性物質の放出する可能性のある状況	船舶による放射性物質の輸送中における事故。フランスの沿岸に近い海洋や陸上への放射性物質の放出を伴う事故。

公衆のモニタリング(IRSIN)



4車両 4コンテナ 2車両
4システム/1車両 10システム/コンテナ 精密体外計測

1日2500名のモニタリングが可能



軍用大型輸送機により他国に移送可能

成果公表

学会発表

- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, O. Kurihara. A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident. HEIR2018, Oct. 8-11th, Fontenay-aux-Rose, Paris, France. → 本研究中で提案する包括的甲状腺モニタリング手法(3ステップ法)の提案に関する国際学会発表。

論文発表

- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, C. Li, O. Kurihara. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. Radiat. Prot. Dosim. (2018). → 甲状腺簡易検査の研修プログラムの開発と結果についてまとめた論文。
- O. Kurihara, C. Li, M.A. Lopez, E. Kim, K. Tani, T. Nakano, C. Takeda, T. Momose, M. Akashi. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys. 115, 259-274 (2018). → 本委託研究の関連論文。F1事故後に公衆の内部被ばくモニタリングに用いられたホールボディカウンタ(WBC)測定の経験と将来の同様な原発事故でのWBCの活用について検討した論文。WHO REMPANのプロジェクト及び保健物理学会専門研究会の成果としてまとめたもの。
- C. Li, M. Tremblay, K. Capello, O. Kurihara, M. Youngman, G. Etherington, A. Ansari, M. Lopez, D. Frank, S. Dewji. Monitoring and dose assessment for children following a radiation emergency part II: calibration factors for thyroid monitoring. Health Phys. (accepted). → 本委託研究の関連論文。WHO REMPANプロジェクトの成果としてまとめられた。各国において甲状腺測定に用いられる機種について、介入レベルに相当する応答を早見表として整備した。共著者からはTCS-171/172のシミュレーションモデルの提供を行った。
- K. Tani, N. Kunishima, Y. Igarashi, E. Kim, T. Iimoto, O. Kurihara. MCNP simulations with a personalized voxel phantom to verify ¹³¹I content in thyroid estimated based on measurements with an NaI(Tl) spectrometer. Radiat. Prot. Dosim. (accepted). → 本研究の関連論文。様々な甲状腺中ヨウ素定量のための物理ファントムや個人の数値ファントムなどの検出特性をシミュレーション計算により比較した論文。

Radiation Protection Dosimetry (2018), pp. 1-6

doi:10.1093/rpd/ncy175

A SCREENING SURVEY EXERCISE FOR THYROID INTERNAL EXPOSURE FROM RADIOIODINE AFTER A NUCLEAR ACCIDENT

Kazuaki Yajima¹, Eunjoon Kim¹, Kotaro Tani¹, Hideo Tatsuzaki¹, Chunsheng Li² and Osamu Kurihara^{1*}
¹National Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-city, Chiba 263-8555, Japan
²Radiation Protection Bureau, Health Canada, 775 Brookfield Rd, Ottawa, Canada

*Corresponding author: kurihara.osamu@qst.go.jp

Received 25 May 2018; revised 8 August 2018; editorial decision 7 September 2018; accepted 12 September 2018

A PRACTICAL EXERCISE ON THYROID SCREENING SURVEY

numbers in the figure are arranged in increasing order of net signal although the point sources were randomly installed in the manikin heads. The error bars denote one standard deviation (1SD) of the measurement data obtained from the 10 pairs of participants. One noted finding in the results is that the net signals obtained for normal BG and elevated BG are quite close to each other. The net signals obtained for elevated BG are slightly higher than those obtained for normal BG. On the other hand, false positives were found for elevated BG for Source Nos. 11 and 12. A probable reason for this is the shielding effect of the poles of the stands for the scaled ¹³⁷Cs sources described above. Consequently, the net signals obtained for elevated BG would be overestimated when subtracting readings for background irradiation (M_B) from those for the neck (M_N). Figure 5 demonstrates the relationship between the net signals and their 1 SDs ($N = 10$), where data for the blank sources (Source Nos. 11 and 12) are excluded. As shown, the scattering of the net signals was large for below $\sim 0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$, but mostly lay within the range of 10–20% for above $\sim 0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$. This suggests

that scattering for below $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ was mainly due to the counting statistics while scattering for above $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ was mainly due to variation in the measurement geometry among the participants when measuring the manikin heads. For example, some of the participants placed the detector probes apart from the neck surface despite being instructed to use contact geometry. Indeed, the distance between the neck and the probe has been shown to be the most influential factor in the counting efficiency of a detector in direct thyroid measurements^{13, 14}. This scattering may be reduced in the next exercise by making the instructions well understood by all of the participants.

According to the recent report of the International Atomic Energy Agency (IAEA), the OIL for thyroid exposure of members of the public based on direct thyroid measurements (named OIL8) is determined to be $0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ for those ≤ 7 years and $2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ for those > 7 years¹⁵. However, this report does not provide details on the process to introduce these values. A provisional OIL value for the screening survey using TCS-171/172 was thus determined to be $0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$, a value same as the one derived from the thyroid equivalent dose of 100 mSv on the assumption of acute intake via inhalation and that would be reasonably applied to 5-year, 10-year, 15-year and adult age groups within one week after the intake. Details on this will be published elsewhere.

Although the difficulties experienced in the 2011 Fukushima nuclear disaster should be considered (e.g. subjects including small children, the influence of fluctuating outdoor background levels around the measurement places, and so on), the results of this survey exercise suggest that in real accident situations, if the measurements are performed at suitable places, dose rates can be reliably obtained at the above set provisional OIL. Regarding such places, the IAEA report has stated that direct thyroid measurements are performed at places where the ambient dose equivalent rate is below $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ¹⁶. This



Figure 2. A manikin head used for the exercise in which point source was installed to imitate ¹³¹I thyroid content.



Figure 3. Scenes from the screening survey exercise.

自己評価

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">● 新モニタ試作機の開発及び性能評価は今年度末までに完了する予定である。● 海外調査(ドイツ・BfS)は2月に行う予定である。
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

- 学会発表: 1件
- 論文発表(本委託研究に関連するものも含む): 4報

次年度計画

項目	平成31年度	実施内容
検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト 開発を含む)	 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今年度に引き続き、ファントムを用いた実験やシミュレーションにより様々な年齢の被検者に対する既存検出器を応答を評価し、甲状腺計測に最適な測定条件を決定する。 ● 実スペクトルを用いた解析・ベンチマークにより、ソフトウェアの課題を抽出し、改良を行う。
新モニタの開発		<ul style="list-style-type: none"> ● 検出素子の最適化配置を決定するとともに、支持機構や簡易遮へい体を含めた実用機を完成させる。
マニュアル作成 (情報収集システムの 開発を含む)	 	<ul style="list-style-type: none"> ● 提案した包括的甲状腺モニタリング手法に関するマニュアルを完成させる。 ● 情報収集支援システムのデータ拡充と改良を行い、本システムを完成させる。
研修・ワークショップ	 	<ul style="list-style-type: none"> ● 本研究で開発した包括的甲状腺モニタリング手法に関する内容や関連する事項を含む研修会やワークショップを開催し、今後の向けての課題等について議論を行う。

ご清聴ありがとうございました