

2019年度

放射線利用技術等国際交流  
(専門家交流)

委託業務成果報告書

2020年3月

公益財団法人 原子力安全研究協会

本報告書は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、(公財)原子力安全研究協会が実施した2019年度「放射線利用技術等国際交流(専門家交流)」の成果を取りまとめたものです。

## はじめに

本報告書は、文部科学省の 2019 年度委託業務として、公益財団法人原子力安全研究協会が受託した「放射線利用技術等国際交流(専門家交流)」の成果をまとめたものである。

本業務では、我が国の原子力施設等の立地地域等が中心となって進めている放射線利用技術や原子力基盤技術等に関する研究開発を推進し、原子力に対する理解の促進を図っている。また当該立地地域等がアジア諸国における研究開発の国際交流の拠点となることを目指し、アジア諸国と放射線利用技術や原子力基盤技術等の研究開発状況等に関する情報交換を行うための国際会合等の実施を取りまとめ、会合等を通して得られた情報を国内の原子力施設等の立地地域等に広く提供している。

具体的には、原子力技術の平和的で安全な利用を進め、社会・経済発展の促進へ向け、12 ヶ国(オーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、日本、カザフスタン、韓国、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナム)が参加する原子力協力の枠組みである、アジア原子力協力フォーラム(FNCA: Forum for Nuclear Cooperation in Asia)の下、プロジェクト別の国際会合等を開催することによって情報交換及び情報収集を行うとともに、会合を通して得られた技術・情報を国内の原子力施設等の立地地域等へ提供した。さらに、ニュースレターの作成、ウェブサイトの運営により、FNCA 活動につき広く発信を行った。

## 目次

はじめに .....	i
目次 .....	ii

### 第1章「国際的枠組み(FNCA 活動)の概要」

1.1 FNCA 及び事業内容 .....	1
1.2 各プロジェクト概要 .....	3
1.2.1 放射線利用開発分野(産業利用・環境利用) .....	3
1.2.2 放射線利用開発分野(健康利用) .....	7
1.2.3 研究炉利用開発分野 .....	9
1.2.4 原子力安全強化分野 .....	11
1.2.5 原子力基盤強化分野 .....	13
1.3 プロジェクト評価 .....	14
1.4 2019 年度における FNCA 活動一覧 .....	27

### 第2章「国際会合の開催、情報収集」

2.1 放射線利用開発分野(産業利用・環境利用)	
2.1.1 放射線育種プロジェクト .....	28
2.1.2 放射線加工・高分子改質プロジェクト .....	32
2.1.3 気候変動科学プロジェクト .....	48
2.2 放射線利用開発分野(健康利用)	
2.2.1 放射線治療プロジェクト .....	52
2.3 研究炉利用開発分野	
2.3.1 研究炉利用プロジェクト .....	57
2.4 原子力安全強化分野	
2.4.1 放射線安全・廃棄物管理プロジェクト .....	65
2.5 原子力基盤強化分野	
2.5.1 核セキュリティ・保障措置プロジェクト .....	76

### 第3章「情報の普及」

3.1 ニュースレターの発行 .....	85
3.2 ウェブサイトの運営 .....	86

### 添付資料

1. FNCA 現行7プロジェクト活動経緯 .....	89
2. 国際会合関連資料	
2.1 放射線育種(MB)プロジェクト国際会合 .....	90

2.2 放射線加工・高分子改質(RPPM)プロジェクト国際会合 .....	98
2.3 気候変動科学(CCS)プロジェクト国際会合 .....	124
2.4 放射線治療(RO)プロジェクト国際会合 .....	131
2.5 研究炉利用(RRU)プロジェクト国際会合 .....	147
2.6 放射線安全・廃棄物管理(RS&RWM)プロジェクト国際会合 .....	161
2.7 核セキュリティ・保障措置(NSS)プロジェクト国際会合 .....	181
3. ニュースレター送付先一覧 .....	193

## 第 1 章

### 「国際的枠組み(FNCA 活動)の概要」

## 第 1 章 国際的枠組み(FNCA 活動)の概要

### 1.1 FNCA 及び事業内容

アジア原子力協力フォーラム(FNCA:Forum for Nuclear Cooperation in Asia)とは、内閣府及び文部科学省が進める近隣アジア諸国との原子力技術の平和利用における国際協力の枠組みであり、オーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、日本、カザフスタン、韓国、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナムの 12 ヶ国が参加し、イコールパートナーシップの下、原子力分野の共同研究を中心とした協力活動を進めている。

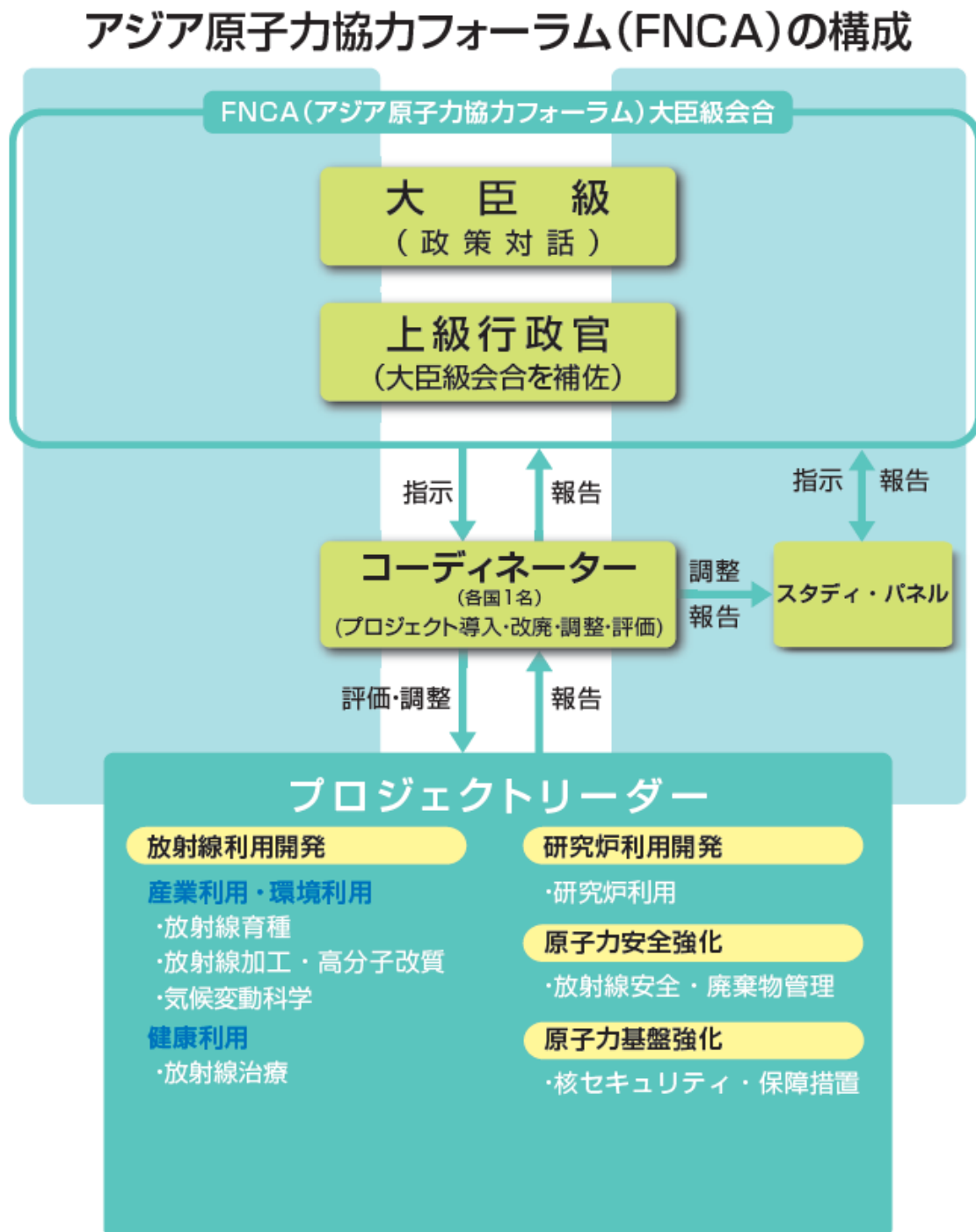
原子力各分野でのプロジェクト活動として、文部科学省の主導の下、放射線利用開発、研究炉利用開発、原子力安全強化、原子力基盤強化の計 4 分野 7 プロジェクトが、以下のとおり推進されている。

1. 放射線利用開発分野
  - 産業利用・環境利用  
放射線育種プロジェクト  
放射線加工・高分子改質プロジェクト  
気候変動科学プロジェクト
  - 健康利用  
放射線治療プロジェクト
2. 研究炉利用開発分野  
研究炉利用プロジェクト
3. 原子力安全強化分野  
放射線安全・廃棄物管理プロジェクト
4. 原子力基盤強化分野  
核セキュリティ・保障措置プロジェクト

また、内閣府主催の会合として、原子力を所管する各国の大臣級代表者により、アジア各国との協力量策や原子力政策について討議を行う「大臣級会合」、上級行政官により、大臣級会合に向けたテーマ設定や予備的議論を行う「上級行政官会合」、原子力発電及び非発電に関する政策・技術課題を、各国の担当上級行政官と有識者で共有し、各国及び国際協力の取り組みに生かすための討議を行う「スタディ・パネル」、各国から 1 名ずつ選出されたコーディネーターにより、協力プロジェクトの成果と評価、推進方策、新提案並びに FNCA の運営全般について審議する「コーディネーター会合」が実施されている。FNCA 全体の構成は、図 1 のとおりである。

各プロジェクトでは、各国から各プロジェクトの活動に最も相応しい行政官や専門家等が参加し、活動の性格、特徴に適した形態で「ワークショップ」を各国で開催しており、国内においては、国内の有識者を集めた「国内会合」を開催し、各プロジェクト活動の企画・立案、評価・検討を行っている。さらに、国内の各プロジェクトリーダーが集まり、各運営グループの活動をより効果的なものとするために情報及び意見交換を行う「プロジェクトリーダー会合」も開催している。

図 1. FNCA の構成





## 1.2 各プロジェクト概要

### 1.2.1 放射線利用開発分野(産業利用・環境利用)

#### (1) 放射線育種プロジェクト

##### 1) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、ガンマ線やイオンビームによる放射線誘発突然変異を利用した品種改良技術により、イネ、バナナ、ダイズ、ソルガム、ランなどのアジア地域でニーズの高い作物において、優れた性質を付加した新品種を作出し、アジア地域の食糧増産及び農作物の高品質化に貢献することを目的として活動を行ってきた。近年では、世界的に関心の高まっている「持続可能型農業」及び「気候変動」に焦点を当て、化学肥料や農薬の投入が少ない低投入条件下での栽培に適した品種や、高/低温、干ばつ、洪水、病虫害、塩害といった気候変動による様々な環境ストレスへの耐性を有する作物品種の開発を目指している。

##### 2) プロジェクトの経緯と成果

プロジェクト活動の初期には、食用作物における環境ストレス耐性に優れた多収品種への改良を目指した研究を実施した。2006 年度に終了したソルガム・ダイズの耐旱性育種研究においては、各国で耐旱性に優れた変異系統が育成された。中国では多収かつ耐旱性に優れたスイートソルガムが、インドネシア及びベトナムではそれぞれ多収かつ耐旱性に優れたダイズが開発され、新品種として登録・公開されており、現在も各国内で利用されている。

2004 年度には、突然変異の原理等の基礎知識から細胞・分子生物学的手法等の応用技術まで幅広く突然変異育種に関する知識と技術を集約した突然変異育種マニュアルを作成し、参加各国の関係者、研究者に配布した。本マニュアルは、FNCA のウェブサイトで公開されており、突然変異育種を学び始めた人から育種事業の実務に携わる研究者まで、幅広く利用されている。

その後、アジア地域の経済成長に伴い、農家や消費者のニーズが多収のみならず食味や機能性成分の向上、輸出用作物の高品質化へと変化していることを受け、各国においてニーズの高い農業形質や子実成分等にターゲットを絞った育種活動を行った。

2010 年度に終了したバナナの耐病性育種研究においては、ガンマ線照射と、その後の人工接種法によるスクリーニングによって、フザリウム萎凋病やバナナバンチトップ病への耐性を有する有望系統を開発し、マレーシア及びフィリピンでは、商業利用に向けた技術移転にも成功した。

2007 年度に開始したイネの品質改良育種研究は、アミロースやタンパク質の含有量の改変を共通目標とし、各国のニーズに合わせて、各々異なる高品質、多収品種の開発を目指した活動を行い、2012 年度で終了した。活動の初期には、標準となる共通の成分測定方法、標準品種、供試材料の交換等にかかわる諸規則を定めるとともに、2008 年度からは、日本原子力研究開発機構(現・量子科学技術研究開発機構)の施設を利用し、母材となる各国のイネ品種へのイオンビーム照射を実施した。各国においては、耐塩性、耐旱性、多収等、それぞれのニーズに合った突然変異系統の育成が順調に進められた。

2013 年度から 2017 年度にかけて、上記のイネの品質改良育種研究の活動成果を基に、「持続可能な農業のためのイネの突然変異育種」をテーマとして研究を実施した。自然農法・有機農法等に代表される化学肥料・農薬の低投入条件下でも比較的高い収量が得られる品種の作出を共通課題とし、さらに環境ストレス耐性品種の作出について、各国が抱える課題に合わせて育種目

標や研究計画を設定して活動を進めた。なお、モンゴルにおいてはイネの栽培が困難であるため、耐冷性イネの試験栽培並びにムギ類を対象とした活動が進められた。バングラデシュ、マレーシア、ベトナムにおいては、優良な特性を持った突然変異系統がそれぞれ新品種として正式に登録される等、大きな成果を得た。また、その他の国においても自国のニーズに合った多くの有望な系統が作出された。

2018 年度からは、気候変動が顕在化する中、持続可能型農業の推進が最重要課題であるとの参加各国の共通認識の下、イネに限らず各国でニーズの高い主要作物に対象を拡大し、「気候変動下における低投入の持続可能型農業に向けた主要作物の突然変異育種」をテーマとして活動を開始した。低投入条件への適応性や環境ストレス耐性を主な目標とし、窒素利用効率の向上や根系等にも焦点を置いて研究を進めている。

## **(2) 放射線加工・高分子改質プロジェクト**

### **1) プロジェクトの目的**

本プロジェクトは、工業・農業分野等における放射線加工技術のより広範な利用を目指し、参加国間における情報交換や共同研究を通じて実験データを共有することにより、参加国に利益をもたらす製品の実用化促進に資することを目的としている。

### **2) プロジェクトの経緯と成果**

第1フェーズ(2002年度～2005年度)では、「低エネルギー電子線照射システム」をテーマに、電子線を用いた排煙処理、天然高分子由来のハイドロゲル作製、繊維染色廃水の処理等の研究開発について現状を共有し、実用的応用研究を進めた。

第2フェーズ(2006年度～2008年度)では、健康、医学、環境応用と技術移転のため、電子線・ガンマ線を用いた天然高分子の放射線加工処理による植物生長促進剤(PGP)やハイドロゲル創傷被覆材等の研究開発を行った。国際原子力機関(IAEA)/原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定(RCA)との情報交換により効率的に研究活動を進めた。韓国は海藻由来のカラギーナンを含有する創傷被覆材(商品名:Cligel)を商品化した。

第3フェーズ(2009年度～2011年度)では、「放射線加工による天然高分子の農業応用」を主なテーマとし、天然高分子の放射線分解を活用したエリクター活性を有するPGPの研究開発と、農業部門との連携強化による実用化に向けたフィールド試験を進めた。また、各国特産の天然高分子に放射線架橋やグラフト重合等の放射線加工処理を施して作製した高吸水性ゲル(超吸水材(SWA))の土壌改良材への応用を進めた。マレーシアはサゴデンプン由来の美容フェースマスク(商品名:Eslon)を商品化した。

高品質なハイドロゲルとオリゴ糖類の作製方法とその使用法にかかわる技術資料として、「放射線加工によるハイドロゲルとオリゴ糖類の開発に関するガイドライン」を発行し、各国の研究開発や産業利用の促進のために有効利用されるよう FNCA ウェブサイトに掲載した。また、第3フェーズの研究においても引き続き RCA との情報交換を行い、より効率的に研究活動を進めた。

第4フェーズ(2012年度～2014年度)では、経済効果の高いイネや唐辛子等への PGP の適合を促進するためのガイドラインを作成した。また、乾燥地帯での作物栽培用の土壌改良材として有用な SWA についてはフィールド試験に着手した。プロジェクトでの研究成果や我が国の専

門家による技術的助言により、各国では天然高分子の放射線加工技術による製品開発が進展した(日本・ベトナム:キトサン由来の植物生長促進剤、中国:キトサン由来の飼料添加剤等)。また、FNCA 参加国における電子線及びガンマ線の照射施設リストを FNCA のウェブサイトに掲載し、参加各国のユーザーに最新の情報を提供している。

第5フェーズ(2015年度～2017年度)では、PGPの実用化完了及び生産価格の適正化の観点からSWAの作製条件の最適化を目指した。また、実用化の重要なステップとなる放射線加工による大量生産技術のためのプロセス開発を進めた。PGPの実用化を完了している国は9ヶ国中6ヶ国で、SWAでは3ヶ国である。研究の進展に伴い「放射線加工によるハイドロゲルとオリゴ糖類の開発に関するガイドライン」(2009年度発行)の技術内容を更新し、最新版をFNCAウェブサイトに掲載した。さらに、バイオ肥料プロジェクトと協力し、キトサン由来のPGPとバイオ肥料の相乗効果に関する研究を進めた結果、イネの生産性向上に相乗効果が見出された。

第6フェーズ(2018年度～2020年度)では、農業、環境、医療応用のための放射線加工と高分子改質をテーマにプロジェクト活動を展開し、参加国のニーズに沿った農業、環境、医療分野等への多様な応用について研究開発を推進し、技術移転を目指している。新しい応用例としては、魚やエビ等の養殖における免疫増強剤及び成長剤としてのオリゴキトサンの利用(インドネシア、マレーシア、ベトナム)、有害金属を除去可能な捕集材の合成(中国、インドネシア、マレーシア)、細胞足場材料(マレーシア、ベトナム、日本)、経皮吸収薬(日本)、止血材(フィリピン)、創傷被覆材(バングラデシュ)へのハイドロゲルの利用等が挙げられる。

### (3) 気候変動科学プロジェクト

#### 1) プロジェクトの目的

本プロジェクトの目的は、原子力・同位体を用いた分析手法により、過去の変動の仕組みと過程について理解し、新たな知見を解明するための専門知識を共有することである。複数の専門分野にまたがるこの研究では、自然界に存在する放射性核種や安定同位体をプロキシ又は指標として活用し、気候に関する高精度の記録を復元できる一連のデータを取得する。放射性核種と同位体を用いれば、過去の気候変動を識別すること、時代を特定することが可能であり、ひいては地球の気候システムの原動力を理解することができる。これを実現するために、アジア太平洋地域の樹木の年輪、珊瑚及び湖沼に保存された記録(環境アーカイブ)を用いて、過去の気候について精度の高い復元を目指す。またこの復元モデルを用いて、オーストラレーシア(オーストラリアとその付近の南洋諸島の総称)モンスーン、エルニーニョ南方振動(ENSO)、インド洋ダイポール現象(IOD)及び太平洋十年規模振動(PDO)等の気候変動の原因及び過程を理解することに努める。

過去の気候について解明するために用いる試料及び分析手法は以下のとおりである。

#### i) 湖沼堆積物

湖沼堆積物に蓄積された花粉、木炭、珪藻類、安定同位体、地球化学試料(成分及び粒度の分析)等は、植生、水質、堆積作用の変化を示す。これらの指標を組み合わせることにより、過去の気候の地域的な図式化、またそれらを更に組み合わせることにより地球規模の図式化が可能となる。堆積物コアの上層部分の鉛-210( $^{210}\text{Pb}$ )、セシウム-137( $^{137}\text{Cs}$ )又はプルトニウム

(Pu)の同位体分析、またコア全体にわたり存在する大型化石、多量の有機物又は貝殻の炭素-14 ( $^{14}\text{C}$ ) 分析により、これらの変化の年表を作成することができる。

## ii) 樹木の年輪

樹木の成長に従って、年ごとの気候の特徴が樹木の組織及び構造に埋め込まれる。樹木に蓄積された酸素安定同位体の特徴、セルロース、年輪の幅等の指標を組み合わせることにより、気温及び降雨量に関する情報を復元することができる。四季の変化が少ない熱帯地方及び亜熱帯地方では、樹木の個々の成長輪を目視で確認することは困難であるが、Itrax 蛍光 X 線コアスキャナーによる成分組成分析、また  $^{14}\text{C}$  の加速器質量分析による年代測定を用いれば検証可能である。

## iii) 珊瑚

珊瑚の骨格は、成長期における付近の海水の化学的及び物理的状态の記録を示す。珊瑚の成長率が高いほど、過去における海洋循環の変化、海面温度及び海洋化学に関する高解像度な情報を入手できる。またこれらは、ENSO 及びインド洋ダイポール現象などの過程の変化を示す。ウラン(U)トリウム(Th)年代測定、 $^{14}\text{C}$  年代測定、安定同位体分析(特に酸素安定同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ ))、ICP/MS(誘導結合プラズマ質量分析計)を用いたストロンチウム(Sr)/カルシウム(Ca)比等の微量元素組成分析、さらに続成作用を分析する走査型電子顕微鏡/粉末 X 線回折法等の技術を、組み合わせて過去の気候の復元に使用する。

## iv) 景観変化及び河川流域

石英に富む石灰質の岩相中に生成されるベリリウム-10( $^{10}\text{Be}$ )、 $^{14}\text{C}$ 、アルミニウム-26( $^{26}\text{Al}$ ) 及び塩素-36( $^{36}\text{Cl}$ ) 等の宇宙線生成核種は、過去に浸食や地滑りが発生した時代と進行の速度を理解するための強力なツールとなる。岩盤の浸食、地滑り、断崖の劣化といった過程は景観を変化させるため、人類による影響や気候変動をより深く理解するきっかけとなる。

## v) 炭素貯蔵

様々な土壌や沿岸の湿地・藻場の炭素貯蔵を正確に推定し、理解することは、二酸化炭素排出量と収支に関連する気候モデリングを正確にすることにつながる。本プロジェクトでは、加速器質量分析を使用した  $^{14}\text{C}$ 、 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$  及び Pu 同位体による年代測定や、同位体比質量分析を使用した炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )、窒素同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ )、 $\delta^{18}\text{O}$  の安定同位体分析等を利用してこれに取り組む。

## 2) プロジェクトの経緯と成果

本プロジェクトは、2017 年度、原子力技術及び同位体を用いた実験と分析を通じ過去の気候変動の仕組みと過程を理解し、新たな知見を解明するための専門知識を共有することを目的として開始された。

2019 年度ワークショップにおいては、各国で実施されている気候変動関連の研究について、進捗報告が行われるとともに、サンプリングや試料処理、分析において各国間で手法や設備を共有することが促された。さらに福井県年縞博物館へのテクニカルツアーが実施され、福井県の水月湖に 7 万年以上かけて堆積した、プランクトン、花粉、火山灰、黄砂等の堆積物の縞につい

て、またそれらが放射性炭素年代測定の精度を向上させ、過去の気温、降水量、火山活動等の解明に用いられていることが説明された。

## 1.2.2 放射線利用開発分野(健康利用)

### (1) 放射線治療プロジェクト

#### 1) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、放射線を用いた標準治療手順(プロトコル)を確立することにより、アジア地域における放射線治療の成績向上と普及を目的としている。アジア地域で罹患率の高いがんに対し、放射線治療の共同臨床研究を行い、副作用や生存率等について追跡調査を実施し、その有効性の科学的立証を進めている。

#### 2) プロジェクトの経緯と成果

##### i) 子宮頸がん

1996 年度より、アジアの人々に適した放射線治療のプロトコルの確立を目指して活動を開始し、放射線標準療法(CERVIX-I)を確立し、5 年生存率が 53%と、欧米に勝るとも劣らない治療成績を示した。2001 年度のワークショップでは、このプロトコルをハンドブックとしてまとめ、各国の参加者等に配布し、成果の普及に努めた。

さらなる治療の改善を目指し、2000 年度に開始した加速多分割照射療法(AHF:CERVIX-II)の臨床研究では、5 年生存率が 66%と、更に高い治療成績を示した。

がんは治療して 5 年後以降の再発が少ないため、臨床試験では 5 年の全生存率を算出する必要がある。化学放射線療法(CRT:CERVIX-III)の臨床研究については、2011 年度までフォローアップを行った結果、5 年の全生存率が 55.1%と、国際的に認知された臨床試験報告の成績に劣らない成績であり、CERVIX-III のプロトコルがアジアの局所進行子宮頸がん患者にとって安全かつ有効なものであることが示された。

2008 年度より、重篤な進行子宮頸がんを対象に、抗がん剤同時併用のもと、傍大動脈リンパ領域を含む拡大照射野で放射線治療を行う臨床試験(CERVIX-IV)を実施している。実施当初は吐き気や下痢等の急性反応が強かったため、2009 年度のワークショップにおいてプロトコルの改良が検討され、その結果、患者の負担が軽減され、抗がん剤投与による化学治療の完遂性が向上した。2018 年度のワークショップ時点での CERVIX-IV の有効性は、5 年局所制御率が 91%、5 年生存率が 77%と良好であり、2019 年度にはその治療成績をまとめた論文が国際学術誌に受理され、掲載された。

さらに、2016 年度には 3D 画像誘導小線源治療(3D-IGBT)を扱った CERVIX-V のプロトコルが作成され、2018 年度より症例登録が始まった。また、2018 年度ワークショップでは、3D-IGBT の実地研修をバングラデシュの医師及び医学物理士向けに行った。

##### ii) 上咽頭がん

2005 年度より、子宮頸がんに加えて上咽頭がんも対象疾患とし、化学放射線療法の臨床試験を開始した。本試験においては、近傍リンパ節転移の進行が重篤ながんに対するプロトコル(NPC-I 及び NPC-III)と、頭蓋底へ腫瘍が直接浸潤する重篤ながんに対するプロトコル(NPC-II)の臨床研究データの解析等を行っている。

NPC-I の 2011 年度時点での 5 年生存率は 52%、局所制御率は 79%であり、2012 年度にはその成果が論文化された。NPC-II の 2013 年度時点での有効性は、3 年局所制御率が 75%、3 年生存率が 80%である。本プロトコールに該当する上咽頭がんの頻度が低く、新規登録の症例が難しい点を考慮し、本臨床試験を終了することとした。しかしながら、疾患頻度が低いにもかかわらず、アジア地域の施設で 70 症例を治療した実績は珍しく、学術的にも貴重なデータであり、2015 年 8 月には、国際学術誌にその成果について論文が投稿された。また、2010 年度より、頸部リンパ節に転移のある上咽頭がん症例に対し、導入化学療法を行った後、放射線療法と化学療法を同時併用する(同時併用化学療法)プロトコール(NPC-III)の実施を開始した。本プロトコールは NPC-I と同じ病状を対象としているが、NPC-I は、同時併用化学療法の後に化学療法を行っており、両プロトコールを比較し、優越性を追求していく必要がある。近年は、本プロトコールへの症例登録が滞っていたが、2019 年度ワークショップでは、登録患者が目標数の 120 に到達し、NPC-I 試験と比較して全生存率が同等であることが報告された。

### iii) 乳がん

2012 年度のワークショップにおいて、新たな臨床研究対象として、乳がんに対するプロトコール(BREAST-I)が討議され、2013 年度より乳がん手術後の患者を対象とした寡分割照射の短期療法について臨床試験が開始された。

BREAST-I は、早期がんに対する乳房温存術後の乳房への照射、あるいは局所進行乳がんに対する乳房切除後の胸壁と鎖骨上窩への 1 回の照射線量を従来よりも増加させることで、総線量を低下させ、治療期間を短縮するプロトコールである。本治療法は多くの先進諸国で乳房照射に使われ、治療効果が同等で有害事象が同等もしくはやや少ないことが報告されている。

本プロトコールには乳房温存療法(HF-BCT)及び乳房切除後放射線療法(HF-PMRT)の 2 つの治療法があり、どちらも目標登録患者数が 200 人であるが、2019 年度ワークショップ時点で HF-BCT が 229 人、HF-PMRT が 221 人と、両方とも目標数を達成している。これまでの治療成績結果は良好であるが、最終結果の確認のために、今後も長期の追記調査が必要である。また、追跡調査結果を基にした論文化が予定されている。

### iv) 放射線治療の品質保証/品質管理(QA/QC)

2006 年度から、ガラス線量計を用いた外部照射装置の QA/QC に関する線量調査を行っており、バングラデシュ、中国、インドネシア、日本、カザフスタン、韓国、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムの 10 ヶ国、また、2010 年度には国際原子力機関(IAEA)/原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定(RCA)からオブザーバーとして参加しているパキスタン(16 施設、46 ビーム)において、対象施設が申告した照射線量と、我が国のガラス線量計を用いて測定した線量の相違を解析した。その結果、ほとんどの施設において適切な照射が行われていることを確認した。これまでの本調査の結果概要と成果を記した論文が 2016 年に国際学術誌に投稿された。また、今後、子宮頸がんの新プロトコール CERVIX-V で画像誘導小線源治療を扱うことを考慮し、各国施設に対し小線源治療における線量の QA/QC に重点を置いた調査及び技術指導を実施している。

本プロジェクトでは、子宮頸がん、上咽頭がん及び乳がんに対する前例がない規模での多国間共同臨床試験を実施し、欧米人との体格差や各国の経済事情等を考慮することで、安全で副作用が少なく、かつ経済的な治療法を確立しつつある。治療による生存率は、欧米で発表されている他の国際的な臨床試験の成績と同等の値を示しており、学術的にも高い成果を得ている。さらに、近年の臨床試験データ等により、CERVIX-III や NPC-I をはじめとする抗がん剤を併用する化学放射線療法でも良好な成績を得られることが明らかとなっており、今後も臨床研究を続けることで、より成熟したプロトコル確立につながると考えられる。

### 1.2.3 研究炉利用開発分野

#### (1) 研究炉利用プロジェクト

##### 1) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、各国が保有する研究炉の特徴や利用状況等の情報を共有し、FNCA 参加国の研究者及び技術者の研究基盤や技術スキルレベルを効果的に向上させることを目的としている。

本プロジェクトのサブテーマの 1 つ、中性子放射化分析(NAA)<sup>1</sup>は、中性子放射化分析を利用して試料の分析結果を評価し、それを社会経済の発展のために活用することを目指している。

##### 2) プロジェクトの経緯と成果

アジアの多くの国では、長年にわたり研究炉を運転・管理し、多種多様な利用を行っている(放射化分析、放射性同位体(RI)製造、半導体製造、原子炉用材料照射試験、核医学、医療用照射、中性子ラジオグラフィ、原子炉挙動研究等)。また、新規研究炉の建設や大型研究炉の運転開始を計画している国もある。このような状況を踏まえ、研究炉利用について複数のサブテーマ(以下 a.~h.)を設け、ワークショップではこの中からサブテーマを 2~3 に絞って取り上げることとした。

- a. 中性子放射化分析(NAA)
- b. 新しい放射性同位元素を含む放射性同位元素製造
- c. 中性子散乱
- d. 原子力科学
- e. ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)、中性子ラジオグラフィ(NR)
- f. 材料研究
- g. 新しい研究炉
- h. 人材育成

---

<sup>1</sup> 中性子放射化分析法:試料の多元素を非破壊で同時分析及び定量する手法である。分析対象試料が維持されるため、何度でも測定可能である点が他の高精度分析法にない長所となっている。このため、研究炉の中性子を利用する手法の中核として研究・開発され、技術の確立に伴い多方面で利用されるようになったが、特に環境モニタリングの分野で広く注目されている。

## 【研究炉利用】

本プロジェクトは 2017 年度より活動を開始し、同年 11 月にインドネシアのスルボンにおいて 2 つのサブテーマ「新しい放射性同位元素を含む放射性同位元素製造」と「新しい研究炉」を取り上げ、最初のワークショップを開催した。2018 年 10 月、大阪における 2 回目のワークショップでは、「BNCT、NR」と「材料研究」を取り上げた。また、2019 年 9 月、カザフスタンのクルチャトフにおける 3 回目のワークショップでは、「人材育成を含む原子核科学」を取り上げた。

## 【中性子放射化分析】

我が国では、研究炉を利用した中性子放射化分析の長年にわたる知見や経験を有しており、これらの知見と経験に基づき各国の技術レベルの統一を図る一方、精度の向上等により分析データの質的充実化を図ってきた。また、分析技術の特殊性を簡便にするため、 $k_0$ 標準化法<sup>2</sup>等の普及を図り、利用者の増加とデータ活用分野の拡大を図ることとした。

第 1 フェーズ(2001 年度～2004 年度)では、分析の効率化、測定データの精度向上と測定技術の均一化、 $k_0$ 標準化法の導入等を目的とした活動を行う一方、環境モニタリングにおける中性子放射化分析の有効性を実証し、各国の状況に応じた環境行政への寄与に尽力してきた。この結果、第 2 フェーズ(2005 年度～2007 年度)において、ほとんどの参加国内で  $k_0$ 標準化法を導入することができ、「環境行政への働きかけ」に重点を置いた活動を行った。第 3 フェーズ(2008 年度～2010 年度)では、「中性子放射化分析の多様な利用」を活動全体の基本テーマとし、分析対象を「地球化学的試料」、「食品試料」、「環境試料」の 3 つに分け、各々を独立したサブプロジェクトとして活動を行った。参加各国は、国内の実情を考慮して参加するサブプロジェクトを選択し、中性子放射化分析の有効性と簡便性をアピールすることを目的に活動を行い、3 つのサブプロジェクトのいずれにおいても各国でデータの蓄積が進められていた。

なお、オーストラリアは 2008 年度より「地球化学的試料」のサブプロジェクトに参加し、本サブプロジェクトの主導的な役割を担っている。その主導による多国間での「3 種類の異なる堆積物による研究所間比較調査」では、本サブプロジェクトに参加する各機関の分析技術を比較するとともに、標準法( $k_0$ 標準化法及び関連手法)以外の中性子放射化分析利用手法、 $k_0$ 標準化法以外のソフト・プログラム、蛍光エックス線分析(XRF)等の異なる技術の相互比較を行った。その結果、中性子放射化分析は、広く利用されている XRF や誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)等による分析を補完するものであることが強く認識された。

第 4 フェーズ(2011 年度～2014 年度)では、第 3 フェーズから継続して「地球化学的試料」、「食品試料」、「環境試料」の 3 つのサブプロジェクトにおいて、より充実したデータを蓄積し、中性子放射化分析の確固たる有効性を示した。

これらの活動により、参加国は、簡便に微量な多元素の同時測定ができる中性子放射化分析技術の応用の可能性とその特徴について認識し、他の参加国の分析結果や分析技術を比較し、自国の技術を評価することが可能となった。

---

<sup>2</sup>  $k_0$ (ケーゼロ)標準化法:試料の多元素を同時に定性・定量分析する簡便な分析方法。中性子放射化分析法は、微量成分の高感度の多元素同時分析法であるが、定量分析のためには標準試料を調整し、データを比較する必要があった。 $k_0$ 標準化法では、あらかじめ中性子照射場と測定装置等に係る必要条件を計測し、この数値を分析時に利用することにより、特別な技術を用いることなく定量の核種分析を行うことが可能となる。



アジア諸国において、環境試料や食品試料等への中性子放射化分析は生活における安全性確保を監視する目的でも利用され始めているとともに、鉱物資源調査等での多様な物質の分析にも活用され始めており、研究面や環境行政等の様々な面で社会に貢献し、国民の生活レベルの向上につながることが期待されている。

第5フェーズ(2015年度～2019年度)では、「大気汚染－SPM」と「鉱物資源－希土類元素」を分析対象として活動を行った。

## 1.2.4 原子力安全強化分野

### (1) 放射線安全・廃棄物管理プロジェクト

#### 1) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、FNCA 参加国間において、放射線安全及び放射性廃棄物管理に関する情報や、経験により得られた知見を交換・共有することにより、アジア地域における放射線安全及び放射性廃棄物管理の安全性の向上に資することを目的としている。

#### 2) プロジェクトの経緯と成果

本プロジェクトは、前身の放射性廃棄物管理プロジェクトを引き継ぎ、2008 年度に活動を開始した。放射性廃棄物管理プロジェクトでは、参加国間において放射性廃棄物管理に関する情報や知見を交換・共有するための活動を行い、放射性廃棄物管理が不十分だった国がその重要性を認識し、処分場を建設するに至った等の実績を挙げている。

2001 年度～2007 年度には、我が国の専門家が各国の現場を訪問し、現状を確認して助言をする活動を実施してきた。この活動を通して、参加国では改善策を構築し放射性廃棄物の安全管理に寄与した。また、放射性廃棄物分野における参加各国の状況をまとめた「放射性廃棄物に関する統合化報告書」を 2001 年度に発行し、2007 年度に改訂した。本報告書は、主に原子力先進国における放射性廃棄物管理の現状をまとめた国際原子力機関(IAEA)のデータベースを補完するデータとして評価されている。さらに、2010 年度から、放射線安全分野における各国の状況を「放射線安全に関する統合化報告書」としてまとめており、最新版を 2013 年度に FNCA のウェブサイト上で公開した。2000 年にタイで発生した放射線被ばく事故や、2011 年に我が国で発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、近年は安全意識の見直しや向上が強調されている。このため、2014 年度から開始した第5フェーズ(2014 年度～2016 年度)では、「原子力・放射線緊急時対応に関する統合化報告書」を作成した。本報告書では、過去に参加国で発生した事故の教訓を共有し、各国における緊急時計画の現状を把握するとともに、緊急時対応を想定した効果的な人材育成のあり方等についても検討を行っている。第6フェーズ(2017 年度～2019 年度)では、低レベル放射性廃棄物処分場をテーマとした活動を行い、統合化報告書の間報告を作成した。また、ニュースレターを毎年作成し、参加国間における放射線安全・廃棄物管理に関する最新の情報を共有している。

参加国の中には、原子力発電所建設の計画が具体化している国もあるため、原子力利用の基礎として重要かつ必須である放射線安全や放射線防護の知識と情報の充実化を図ることが喫緊の課題となっている。このためワークショップにおいて、緊急時対応に関する情報や実際の原子

力・放射線関連の事故に関するデータ等を共有し、放射線安全の考え方や施設の放射性廃棄物管理の相互理解を進め、各国の安全文化の推進に貢献している。

## 1.2.5 原子力基盤強化分野

### (1) 核セキュリティ・保障措置プロジェクト

#### 1) プロジェクトの目的

アジア諸国における原子力平和利用の推進においては、原子力安全とともに核セキュリティ・保障措置の一層の確保が重要となる。本プロジェクトは、核セキュリティ・保障措置について参加各国の認識を高め、情報交換や人材育成、研究開発の推進等を通じて、アジア地域における核セキュリティ・保障措置の強化を図ることを目的としている。

#### 2) プロジェクトの経緯と成果

本プロジェクトは 2011 年度より活動を開始し、第 1 フェーズ(2011 年度～2013 年度)及び第 2 フェーズ(2014 年度～2016 年度)では、ワークショップを通して参加国及び国際原子力機関(IAEA)の核セキュリティ・保障措置の取り組みや参加国における核セキュリティ・保障措置分野でのキャパシティ・ビルディングの取り組みについて情報を共有し、核セキュリティ・保障措置の重要性に対する意識や知識の一層の向上を図った。また、原子力の平和的利用において重要な原子力 3S(原子力安全(Safety)、保障措置(Safeguards)、核セキュリティ(Security))の確保・強化や核セキュリティ文化醸成の重要性について参加各国の理解促進を図った。2012 年度のワークショップでは、核不拡散のための IAEA 追加議定書(AP)の実施に関して経験を共有する場として、アジア太平洋地域の保障措置関連機関のネットワークであるアジア・太平洋保障措置ネットワーク(APSN)と合同で公開セミナーを開催した。また、FNCA ウェブサイトを通じて参加国における核セキュリティ・保障措置の取り組みや 3S の規制当局に関する情報を共有するとともに、2012 年度からは、第 14 回 FNCA 大臣級会合(2011 年度)の決議を受け、アジア地域における核セキュリティ文化の醸成に向けて参加各国の核セキュリティ文化醸成に向けた具体的な取り組みを共有するとともに、参加国以外に対しても広く発信を行った。

第 3 フェーズ(2017 年度～2019 年度)では、各分野のテーマとして核セキュリティ分野は核鑑識、サイバーセキュリティ、核セキュリティ文化醸成、放射線源のセキュリティ、保障措置分野は追加議定書(AP)、また共通分野として中心的拠点(COE)等による能力構築(人材育成等)をテーマに選択し、ワークショップ等での情報共有や討論等を通じて参加各国の取り組みに貢献した。

### 1.3 プロジェクト評価

本年度、FNCA の 4 プロジェクト(放射線治療、研究炉利用、放射線安全・廃棄物管理、核セキュリティ・保障措置)が、活動期間(フェーズ)の最終年度を迎え、評価を実施した。プロジェクト最終報告を以下に示す。

#### (1) 放射線治療プロジェクト

##### 1) プロジェクト名

放射線治療プロジェクト

##### 2) 主導国及びプロジェクトリーダー名

日本、加藤真吾氏(埼玉医科大学)

##### 3) 分野

放射線利用開発分野(健康利用)

##### 4) FNCA 会合の共同コミュニケ/決議における言及

###### i) 放射線治療に関わる支援と協力

研究・試験段階から実践段階への移行期にあり、2019 年度以降の円卓討議で、人々の健康及び医療の発展に焦点を当てて討議される予定の放射線治療の促進を、確立したプロトコルの普及と併せて強化するよう参加国に促す。(第 19 回大臣級会合(2018 年度)で合意された共同コミュニケより)

###### ii) 同会合において、新たな臨床試験(CERVIX-V)の治療プロトコルに関する実地研修がバングラデシュの病院で順調に実施されたことが高く評価され、このプロトコルにより、今後バングラデシュの子宮頸がんに苦しむ数万人の患者の命が救われると期待される。さらに、放射線治療専門医及び医学物理士を対象とする 3 次元画像誘導小線源治療(3D-IGBT)に関する実地研修が、2019 年度に中国で実施されるワークショップにおいて再度実施されるよう推奨される。(第 20 回コーディネーター会合(2018 年度)で合意された決議より)

##### 5) 活動期間

2017 年度～2019 年度

##### 6) プロジェクトの背景

がんの発生率は世界的に急上昇しており、これは今後数年の間に世界人口の健康と幸福を脅かすとともに、(特に資源の乏しい国々の)国家経済をも脅かすであろうと予測されている。子宮頸がん、上咽頭がん及び乳がんは、東アジア及び東南アジアの低・中所得国で多く見られる悪性腫瘍である。

上記の地域では、多くの患者がこれらの疾患の比較的後期にあることから、当該疾患の死亡率は高い。それ故、同地域の公共の福祉がこれらの疾患に対する医療の効果的な戦略を策定し、定めることは主として重要である。

局所進行性の子宮頸がん及び上咽頭がんの治療において、放射線療法と化学療法の併用が重要な役割を果たす。さらに、術後放射線療法は乳がんに対する不可欠な治療法でもある。

しかしながら、放射線療法の設備や人的資源は限られており、アジアの低・中所得国では、既存の治療技術に関する情報及び近代的な放射線治療の知見は広く浸透していない。

したがって、アジア諸国において技術的に実行可能であるとともに経済的に妥当な、安全かつ有効な治療法を確立することは極めて重要であると考えられる。

アジアにおける主要がんに対する最適な治療法を確立するために、FNCA 放射線治療プロジェクトは、20 年以上にわたって放射線療法及び化学療法について複数の臨床試験を実施してきた。これらの臨床試験の結果に基づき、いくつかの治療プロトコールが FNCA 参加国における標準プロトコールとなり、これらは当該地域における治療成績の向上に寄与してきた。

## 7) プロジェクトの目的

- i) FNCA 参加国における主要がんに対する放射線療法及び化学療法の最適な治療プロトコールの確立を図る。
- ii) FNCA 参加国における放射線療法の質の向上を図る。
- iii) FNCA 参加国における主要がんの治療成績の向上を図る。

## 8) プロジェクトの成果物

### i) 子宮頸がん

- i -1) 局所進行子宮頸がんに対する同時併用シスプラチン化学療法及び予防的拡大照射野放射線療法の成績を評価するために、第 II 相試験「Cervix-IV」が実施された。

2007 年～2016 年の間に 106 名の患者が本試験に登録され、2018 年にその結果が評価された。グレード 3 の急性血液毒性の発症率は 21%、グレード 3 の晩期消化管毒性の発症率は 3%であった。全患者の 2 年局所制御率、無増悪生存率及び全生存率はそれぞれ 96%、78%、90%であった。この結果から、東アジア及び東南アジアの局所進行子宮頸がん患者に対する同時併用化学療法及び予防的拡大照射野放射線療法が実行可能かつ有効であることが示された。本試験の結果は 2019 年に国際的医学専門誌で発表された。

- i -2) 2014 年から 2016 年にかけて、子宮頸がんに対する 3 次元画像誘導小線源治療 (3D-IGBT) の予備調査が実施された。

局所進行子宮頸がんに対する 3D-IGBT の前向き観察研究が 2018 年に開始された。その治療のフィージビリティ、安全性及び有効性が評価されている。これはアジアで最初に実施された国際多施設臨床試験である。

FNCA 参加国における 3D-IGBT の実施には、医療スタッフの訓練が非常に重要である。2018 年度 FNCA ワークショップ (WS) において、実地研修セッションがダッカで開催された。地元の医師及び医学物理学士がその研修セッションに多数参加した。WS における研修セッションはこのプロジェクトの主要な活動の 1 つとして継続される予定である。

### ii) 上咽頭がん

局所進行上咽頭がんに対する導入化学療法とその後の同時併用化学放射線療法の組み合わせの安全性と有効性を評価するために、第 II 相臨床試験「NPC-III」が実施された。

2010 年～2019 年に、総数 120 名の患者がこの試験に登録された。暫定的結果によると、術後補助化学療法を用いた NPC-I 試験と比較して全生存率は同等であり、本プロトコール治療の毒性は許容可能と見なされた。この治療法の有効性及び毒性を判定するためには、最低 3 年間の患者の追跡調査が必要である。

### iii) 乳がん

iii-1) 乳房温存手術(BCT)後の早期乳がんに対する術後寡分割放射線療法の安全性と有効性について評価するために、第II相臨床試験が実施された。

2013年～2018年に229名の患者がプロトコル治療を完了した。暫定的結果によると、治療成績は優良で、急性毒性及び晩期毒性は許容可能であった。最終的な治療成績の評価のためには最低5年間の患者の追跡調査が必要である。

iii-2) 全乳房切除術(PMRT)後の局所進行乳がんに対する術後寡分割放射線療法の安全性と有効性について評価するために、第II相臨床試験が実施された。

2013年～2019年に221名の患者がプロトコル治療を完了した。暫定的結果によると、治療成績は優良で、急性毒性及び晩期毒性は許容可能であった。最終的な治療成績の評価のためには最低5年間の患者の追跡調査が必要である。

### iv) 放射線療法の物理的QA及びQC

#### iv-1) 外部照射放射線療法のQA/QC

外部照射放射線療法の品質保証(QA)及び品質管理(QC)に関する調査が、FNCA参加国の設備のうち、ガラス線量計を用いて実施された。11ヶ国における16施設(46ビーム)の線量調査が行われた。その調査結果は2017年に国際的医学専門誌で発表された。

#### iv-2) 3D-IGBTのQA/QC

3D-IGBTの調査用の新たな高性能ファントムが設計され、製造された。2019年以降に参加施設において訪問監査が実施された。

## 9) プロジェクトの業績

i) FNCA 放射線治療プロジェクトの活動とFNCA 臨床試験の結果が以下の国際会議で紹介された。

ICARO2:オーストリア、ウィーン、2017年

FARO 2017:インド、バンガロール、2017年

ASGO 2017:日本、東京、2017年

GCIG 2017:オーストリア、ウィーン、2017年

FARO 2018:インドネシア、バリ、2018年

ASTRO 2018:米国、サンアントニオ、2018年

IGCS 2018:日本、京都、2018年

ASTRO 2019:米国、シカゴ、2019年

FARO 2019:中国、深圳、2019年

SSD 19:日本、広島、2019年

ii) Cervix-IVの結果が国際的医学専門誌で発表された(Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2019 Sep 1;105(1):183-189)。

iii) 外部照射放射線療法に関するQA/QCの結果が国際的医学専門誌で発表された(J Radiat Res. 2017 May 1;58(3):372-377)。

iv) 子宮頸がんに対する治療プロトコル(Cervix-III)及び上咽頭がんに対する治療プロトコル(NPC-I)がFNCA参加国における標準治療プロトコルとして認められた。

v) FNCA QA/QC プログラムにより、FNCA 参加国における放射線療法の質が向上した。

#### 10) 計画段階では考慮されなかったものの結果的により良い業績をもたらした要因

FNCA と国際原子力機関(IAEA)/原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定(RCA)との相乗効果。

i) IAEA/RCA 地域研修コース(RAS 6035、6037、6040、6048、6053、6062、6065 及び 6072) 及び IAEA INT6062 ワークショップにおいて、FNCA 臨床試験を通じて得られた治療情報について講演が行われた。

ii) IAEA/RCA RTC(RAS 6062、6072)において、FNCA 参加国の放射線治療医及び医学物理士が、3D-IGBT に関する知識と技術についてトレーニングを受けた。

#### 11) プロジェクトの実施段階で成果を阻害した要因

予算及び人材の不足：

臨床試験及び QA/QC 調査の実施にあたって、予算及び人材の不足が大きな障壁であった。この状況を克服するために、量子科学技術研究開発機構(QST)が当該臨床試験及び QA/QC 調査を経済的に支援してきた。QST は、さらに、臨床試験のためのデータ・センターとして、本プロジェクトに貢献してきた。

#### 12) プロジェクトから得た教訓

FNCA 参加国間にさまざまな技術的、文化的、社会経済的格差があったが、研究グループは、当該臨床試験の期間中に、各国における放射線療法の現状について相互理解を達成した。

この相互理解は、FNCA の方針が、アジアの中・低所得国において有効かつ技術的及び社会経済的に実行可能な確実な治療法を確立できるものであるために極めて重要である。

FNCA の活動を通じて構築されたネットワークは、放射線治療分野におけるアジア諸国間のさらなる協力を促進及び強化する可能性を秘めている。

#### 13) プロジェクトの成果を持続させるための提言

FNCA の治療プロトコルの実施と、そのプロトコルの FNCA 参加国内の他の拠点への周知に向けた継続的な追跡調査を実施すること。

#### 14) 今後の方向性

本プロジェクト活動の継続

#### 15) 特記

なし

### (2) 研究炉利用プロジェクト

#### 1) プロジェクト名

研究炉利用プロジェクト

#### 2) 主導国及びプロジェクトリーダー名

日本、海老原充氏(早稲田大学)及び大槻勤氏(京都大学)

#### 3) 分野

研究炉利用開発分野

#### 4) FNCA 会合の共同コミュニケ/決議における言及

研究炉利用(RRU)プロジェクト傘下の 2 つのプロジェクトは長期にわたって別個に活動してきたが、第 18 回コーディネーター会合での討議の結果に従い、3 年前に統合され、新たな RRU プロジェクトとして生まれ変わった。

その結果、同会合は、2 つの新しい 3 カ年プロジェクト、すなわち…研究炉利用(研究炉ネットワーク・プロジェクトと中性子放射化分析プロジェクトを統合)プロジェクトを立ち上げることに合意した。(2017 年 3 月の「第 18 回 FNCA コーディネーター会合の結論と提言」より)

## 5) 活動期間

2017 年度～2019 年度

## 6) プロジェクトの背景

試験研究炉は、原子力/核科学開発のための基本的かつ基礎的なツールである。それ故、大多数の FNCA 参加国が研究炉を保有しており、バングラデシュ、韓国、モンゴル、タイ、ベトナム等数が新しい研究炉の建設を計画している。したがって、本プロジェクトを通じた研究炉利用に関する技術情報の共有と交換は、各 FNCA 参加国にとって有益であろう。中性子放射化分析(NAA)のテーマに関しては、2000 年の FNCA 枠組み発足時に NAA プロジェクトが立ち上げられて以来、NAA(サブ)プロジェクトは実施され、拡大してきた。NAA は参加国にある研究炉を利用して実施できる基礎的なテーマの 1 つであるからである。

## 7) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、FNCA 参加国が保有する試験研究炉の特性、使用条件、その他それらを取り巻く要因について相互理解を深めること、研究者及び技術者の技術的技能レベルを高めること、並びに FNCA 参加国が保有する試験研究炉の相互利用を促進することを目的としている。

定期的開催されるワークショップにおける FNCA 参加国間の技術情報の共有と交換を通じて、各 FNCA 参加国の研究者及び技術者の技術的技能レベルと研究基盤が向上するものと期待される。

NAA グループは、分析ツールとしての NAA の利用を、研究者、政府部門、さらには公衆をも含むさまざまな人々にアピールすることを目指している。

## 8) プロジェクトの成果物

以下のテーマに関する情報の共有：

- a. 中性子放射化分析(NAA)
- b. 新しい放射性同位元素を含む放射性同位元素の生産
- c. 中性子散乱
- d. 原子核科学
- e. BNCT、NR
- f. 材料研究
- g. 新しい研究炉
- h. 人材育成

(RRU グループ)

上記の項目のうち、毎年 2～3 項目ずつ検討した結果、総括として、例えば、以下のような重要な認識と統一された見解が RRU プロジェクトにおいて得られた。

- i) 医療用 RI の生産の重要性



- ii) 新しい研究炉の必要性
- iii) 新しいテーマの育成の必要性

(NAA グループ)

具体的には、NAA グループは、分析対象としての浮遊粒子状物質 (SPM サブプロジェクト) 及び鉱物資源物質 (REE サブプロジェクト) に NAA を応用し、エンドユーザーと共有可能な貴重なデータを得ることを目指した。

SPM サブプロジェクトでは、良好なデータが得られ、2020 年に少なくとも 1 つの共著論文を専門誌上で発表することを検討中である。

REE サブプロジェクトでは、参加国が継続的に鉱物試料の測定を実施した。活動の一例として、鉱業のための標準物質の認証への参加、鉱物加工製品の分析、及び産業汚染の影響を受けた区域内の堆積物分析などが挙げられる。

## 9) プロジェクトの業績

(RRU グループ)

討論では、過去 3 年間の各参加国の RRU プロジェクト評価を目指した。最終会合後全ての参加国に質問票を送り、早期に調査が実施された。調査結果の概要が発表された。共通認識に基づく業績及び結果が発表され、全ての国が新しい炉と、有用な RI の生産、NR 及び BNCT その他への利用を必要としていることが確認された。最終的に、次のフェーズのために事実を集約する予定である。

(NAA グループ)

SPM サブプロジェクトに関しては、分析結果を各参加国で取りまとめ、その一部を研究論文として科学誌上で報告する予定である。新しいデータを、過去のプロジェクトで得られた古いデータと比較する予定である。このような比較は、各国で実施する他、SPM サブプロジェクトに参加する複数の諸国間でも実施する予定である。REE サブプロジェクトに関しては、複数の参加国がラウンドロビン試験を実施し、その結果が IAEA 開催のワークショップで報告された。その結果は IAEA 文書において報告されている。

## 10) 計画段階では考慮されなかったものの結果的により良い業績をもたらした要因

RRU プロジェクトに関連して、「文部科学省原子力研究交流制度」の下で、複数の諸国から招聘者を受け入れた。RI 製造及び放射化分析に関する複数のテーマの下で、京都大学研究用原子炉 (KUR) を用いて研究が実施され、有意義であった。

## 11) プロジェクトの実施段階で成果を阻害した要因

- i) 恐らく政治的問題によると思われるが、複数の参加国のプロジェクトリーダーがワークショップに参加できなかった。
- ii) 3 年間を通して同じプロジェクトリーダーが参加しなかった参加国が複数ある。
- iii) いくつかの国に関して、コーディネーター推薦のプロジェクトリーダーが NAA 分野のリーダーではなかったように思われた。

## 12) プロジェクトから得た教訓

(RRU グループ)

FNCARRU プロジェクトにおいて共有される情報は貴重であるが、ほぼ全ての国で同じ科学的研究 (論文執筆等) を行うことは難しい。

(NAA グループ)

NAA は長年にわたって実施されてきたが、いくつかの国に関して、データの質から推定される分析レベルは向上していない。ラウンドロビン試験の実施により、そのような国々が問題を認識した可能性があるが、状況は改善されていない。

### 13) プロジェクトの成果を持続させるための提言

(RRU グループ)

各国で RRU プロジェクトに関する重要課題を取り上げる。

(NAA グループ)

プロジェクトリーダーが研究者であることを鑑みれば、彼ら自身はもとより、その所属機関も成果の発表の意義を認めなければならない。FNCA 活動の評価において発表を一層推奨し、これを FNCA 賞に反映させる。

### 14) 今後の方向性

研究炉利用 (RRU) プロジェクトの継続

### 15) 特記

なし

## (3) 放射線安全・廃棄物管理プロジェクト

### 1) プロジェクト名

放射線安全・廃棄物管理プロジェクト

### 2) 主導国及びプロジェクトリーダー名

日本、小佐古敏荘氏 (東京大学)

### 3) 分野

原子力安全強化分野

### 4) FNCA 会合の共同コミュニケ/決議における言及

FNCA の原子力安全マネジメントシステムプロジェクト、放射線安全・廃棄物管理プロジェクト及び核セキュリティ・保障措置プロジェクトにおける活動を通して、特に原子力安全やセキュリティ、不拡散/保障措置に関する基盤整備を構築するため、また人材を育成していくために協力する。  
(第 12 回 FNCA 大臣級会合の決議、2011 年 12 月 16 日)

### 5) 活動期間

2017 年度～2019 年度

### 6) プロジェクトの背景

アジア地域において原子力の安全と放射線利用の維持と向上を図る上で、放射性廃棄物の分野が今なお重要であることは明白である。一方、アジアのいくつかの国が近い将来原子力発電プログラムを導入する現実的な計画を有することから、原子力施設の良好な管理と運転の前提である放射線安全に関する活動が、より効果的な国際協力につながると確信する。

上述の歴史と事実を念頭に、放射線安全というテーマを放射性廃棄物管理に密接に関連するテーマとして放射性廃棄物管理プロジェクトに含めるか又はそれに基づいて同プロジェクトを拡大するべきであることを認識し、これに対応して、2008 年に同プロジェクトの名称を「放射線安全・廃棄物管理 (RS&RWM) プロジェクト」に改めた。再生後のプロジェクトは、放射線安全分野に対

応するよう求められているが、引き続き放射性廃棄物管理分野の活動を従来通り継続することも求められている。

放射線安全に関しては、原則、各国が ICRP の勧告、関連する IAEA の安全基準、その他該当する基礎情報の内容と概念を正しく理解する必要がある。ただし、場合によっては、それらを放射線安全に係る法令、規則、規格又は基準として直接かつ一律に適用できないことが認識されており、各国は、それらを適用段階で活用するために、十分な実用知識と洞察力を有する必要がある。

## 7) プロジェクトの目的

放射線安全・放射性廃棄物管理の経験を通じて得られた情報及び知見の交換と共有により、本プロジェクトは、アジア全域において、放射線及び放射性廃棄物の取り扱いに関わる安全性の向上を支援する。第5フェーズでは「原子力/放射線緊急時計画・対応」を主たるテーマとして、近年、参加国の研究機関その他組織における原子力及び放射線関連事故に関する情報の共有、各国における緊急時計画の現状の把握並びに各国で実施されている原子力及び放射線関連緊急時手順の概略を示す報告書の作成等の活動を実施した。

第6フェーズでは、FNCA のほぼ全ての参加国が低レベル放射性廃棄物処分施設／長期貯蔵施設の建設を計画していることから、それらの処分施設の安全機能と実際の設計はもとより、大衆の受容についても本プロジェクトで検討した。RS&RWM ワークショップを通じた経験の共有は、放射線安全及び放射性廃棄物管理の技術的側面に関する知識を深める素晴らしい機会である。

## 8) プロジェクトの成果物

低レベル放射性廃棄物処分場に関する統合化報告書の中間報告書(2020年)

## 9) プロジェクトの業績

統合化報告書の完成に向けた検討を通じた、放射性廃棄物処分場、原子力/放射線緊急時計画・対応に関する知識レベルの向上

安全性評価、規制及び運用システムの整備、サイト選定、処分施設の設計及び建設を含む、低レベル放射性廃棄物処分施設に関する知見と実用技術の交換

## 10) 計画段階では考慮されなかったものの結果的により良い業績をもたらした要因

なし

## 11) プロジェクトの実施段階で成果を阻害した要因

なし

## 12) プロジェクトから得た教訓

ワークショップを通じた経験の共有は、放射線安全及び放射性廃棄物管理の技術的側面に関する知識を深める素晴らしい機会である。近い将来原子力エネルギーを導入することが当該地域で検討されていることから、放射性廃棄物管理及び原子力安全の分野における参加国間の知識共有が重要である。

## 13) プロジェクトの成果を持続させるための提言

大衆の電離放射線被曝を伴う全ての放射線診療及び活動の安全と国際基本安全基準(BSS)の遵守の確保を図る。

本プロジェクトの背景及び参加国のプロジェクトリーダーの専門性に適合したテーマを選定する。

ワークショップの開催前に、ワークショップの主催国と日本のプロジェクトリーダーとの間で対面コミュニケーションを実施することで、次のワークショップでの議論を一層効果的に展開できるであろう。

#### 14) 今後の方向性

＜継続と新たなテーマの追加＞

放射線安全・放射性廃棄物管理プロジェクトのテーマを、下位テーマ「FNCA 参加国における放射性廃棄物管理」と併せて継続し、拡大する。特に低レベル放射性廃棄物処分設備について、放射性廃棄物の処理、処分及び管理に着目したい。

「低レベル放射性廃棄物貯蔵施設」は引き続き次のフェーズの主要テーマとなるであろう。2020 年 3 月に発行された統合化報告書の間接報告書は、次のフェーズにおいて、さらなる詳細情報を含めて最終的に完成される予定である。

さらに、本プロジェクトでは、天然放射性核種(NORM)及び人為的な過程を経て濃度が高められた自然起源の放射性物質(TENORM)廃棄物の特性評価及び使用済線源にも着目する予定である。

本プロジェクトにおいて極低レベル放射性廃棄物のクリアランスも考慮に入れるよう勧告する。。

#### 15) 特記

研究炉及び発電炉の放射線安全、大衆の安全、研究・医療施設における放射性同位体の使用、放射性廃棄物の特性評価に関する側面を考慮に入れた放射線安全、放射性廃棄物の処理・処分を実現するための国家の能力を高めるために、FNCA 参加国における継続的な協力を維持する必要がある。

#### (4) 核セキュリティ・保障措置プロジェクト

##### 1) プロジェクト名

核セキュリティ・保障措置プロジェクト

##### 2) 主導国及びプロジェクトリーダー名

日本、千崎雅生氏(日本核物質管理学会)

##### 3) 分野

原子力基盤強化分野

##### 4) FNCA 会合の共同コミュニケ/決議における言及

- i) 原子力エネルギーの安全な平和的利用のためには、基盤整備が不可欠であることを認識し、特に原子力安全、核セキュリティ、及び核不拡散/保障措置を始めとする基盤整備のための相互努力を強化する。(第 11 回 FNCA 大臣級会合の決議、2010 年 11 月 18 日)
- ii) FNCA の原子力安全マネジメントシステムプロジェクト、放射線安全・廃棄物管理プロジェクト及び核セキュリティ・保障措置プロジェクトにおける活動を通して、特に原子力安全やセキュリティ、不拡散/保障措置に関する基盤整備を構築するため、また人材を育成していくために協力する。(第 12 回 FNCA 大臣級会合の決議、2011 年 12 月 16 日)
- iii) 原子力利用の拡大が期待されるアジア地域での核セキュリティの重要性を認識し、適宜 IAEA と協力して、日本の ISCN、韓国 INSA 及びその他組織による活動を含めた全世界の良好事例と整合した人材養成活動や、FNCA ウェブサイトの活用による良好事例の共有を通じて、核セ

キュリティ文化の醸成を引き続き強化する。(第 15 回 FNCA 大臣級会合の決議、2014 年 11 月 19 日)

- iv) 加盟国全般で優先度の高い、農業・食品安全、環境保全、健康に関連する原子力科学と技術の応用に関するプロジェクト、及び加盟国の普遍的関心事である核セキュリティ(サイバーセキュリティを含む)、核の安全と保全文化の為に人材育成に関わるテーマについて、既存テーマを一層促進するのみならず、加盟国が幅広く関心を持ち、持続可能な発展に寄与するテーマを将来的に採択する。(第 19 回 FNCA 大臣級会合に関する共同コミュニケ、2018 年 12 月 6 日)

## 5) 活動期間

2017 年度～2019 年度

## 6) プロジェクトの背景

エネルギー資源の多様化に対応して、複数のアジア諸国がこれまでに原子力を 1 つの選択肢として検討してきた。その結果、核物質の利用が飛躍的に増えることが予測されており、原子力の平和的利用の促進において、核セキュリティ及び保障措置並びに原子力の安全がますます重要になる。このような理由から、2011 年に FNCA の枠組みの中で核セキュリティ・保障措置プロジェクトが立ち上げられ、FNCA 参加国と協力して各国の基盤の強化を目指している。

## 7) プロジェクトの目的

本プロジェクトは、核セキュリティ・保障措置の実施に関する経験、知識及び情報を共有し、これらの分野における一層の実施能力の向上のため、政策、戦略及び枠組みに関して意見交換を行うことを目的とする。

この目的に沿って、本プロジェクトは以下を活動目標としている。

- i) 核セキュリティ・保障措置の重要性に対する認識を高める。
- ii) 核セキュリティ・保障措置の分野における情報共有を促進する。
- iii) 核セキュリティ・保障措置の分野におけるキャパシティ・ビルディングの取り組みを推進する。
- iv) 核セキュリティ・保障措置の技術的ツール及び技術要件に関する情報の共有により、核セキュリティ・保障措置の体制を強化する。

## 8) プロジェクトの成果物

2015 年に参加国へのアンケート調査を実施し、以下の分野が 2017 年度～2019 年度の活動として選定された。

- i) 核セキュリティ:核鑑識、サイバーセキュリティ、核セキュリティ文化及び放射線源のセキュリティ
- ii) 保障措置:追加議定書(AP)他
- iii) 核セキュリティ及び保障措置に共通:キャパシティ・ビルディングの強化(中核的拠点(COE)での人材育成)

この 3 カ年の活動は、優れた成果を生み、核セキュリティ・保障措置の重要性に対する認識を高め、核セキュリティ・保障措置の情報共有を促進し、核セキュリティ・保障措置のためのキャパシティ・ビルディング及び核セキュリティ・保障措置体制の強化を促した。

- i) 核セキュリティ
  - i -1) 核鑑識

- 核鑑識実施能力(核鑑識分析、核鑑識ライブラリ)整備のための取り組み、核鑑識に関する国家対応計画の状況及び国際協力に関して参加各国にアンケートを行い、その結果を共有した。
- 核鑑識に関する国家体制の構築について討議し、国内核鑑識ライブラリの開発について情報を共有した。
- 日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター(ISCN/JAEA)の主催で、証拠サンプルの採取、核鑑識ラボラトリにおける初期調査及び核鑑識の解釈に関する机上演習(TTX)を実施した(2019年1月28日～31日)。
- 2019年度ワークショップにおいて核鑑識に関するショート TTX を実施し、指定された機関あるいは責任を有する関係機関が対応、強化すべき重要事項を把握した。
- タイで核鑑識分析に関する実地演習を2020年度に開催する。

#### i -2) サイバーセキュリティ

- 2018年度ワークショップにおいて、サイバーセキュリティに関する規制枠組み及びキャパシティ・ビルディングに関する FNCA 参加国の経験を共有した。

#### i -3) 放射線源のセキュリティ

- 2017年度ワークショップにおいて、特別講義として、日本が放射線源のセキュリティ強化に関する取り組みを紹介した。

### ii) 保障措置

#### ii -1) 追加議定書(AP)

- FNCA ウェブサイトでの公表及び FNCA 参加国全体でのさらなる周知を目的し、実際の経験に基づく、FNCA 参加国の AP 実施に関する良好事例集の作成を進めた。
- 参加国で実施された良好事例は、IAEA の要求事項及び保障措置を AP 実施と併せて実施する上で関連しかつ重要な、以下の AP 要素に分類した。
  - ✓ IAEA への情報提供
  - ✓ 補完的アクセス
  - ✓ IAEA 査察官の指名
  - ✓ 附属書、保障措置基盤への支援

#### iii) 核セキュリティ及び保障措置に共通:キャパシティ・ビルディング

- 持続可能な発展に向けた、効果的な人員能力の強化及び長期的な人材育成計画又は戦略について討議した。
- COE 間での相互のトレーニング活動に関する情報交換を行い、核セキュリティ・保障措置トレーニングに関する経験を共有した。
- FNCA 参加各国が最大限に利用できるための人材育成協力及び支援活動を促進した。

## 9) プロジェクトの業績

- i) 本プロジェクトの活動は、FNCA 参加国における核セキュリティ・保障措置の強化に寄与した。さらに、本プロジェクトは、ISCN/JAEA、IAEA 及びワークショップ開催国の関係機関と緊密に連携した。

- ii) 2017 年 11 月 13 日～17 日に IAEA で開催された「核物質及び原子力施設の物理的防護に関する国際会議」で、日本プロジェクトリーダーの千崎雅生氏が本プロジェクトの活動について発表を行った。
- iii) 2019 年 7 月 14 日～18 日に米国で開催された核物質管理学会 (INMM) の第 60 回年次総会で、千崎氏が本プロジェクトの活動状況と成果について発表を行った。
- iv) 2020 年 2 月 10 日～14 日に IAEA で開催された「核セキュリティに関する国際会議」で、千崎氏が本プロジェクトのこれまでの 3 カ年 (2017 年～2019 年度) の活動成果や今後の活動計画について発表を行った。

#### 10) 計画段階では考慮されなかったものの結果的により良い業績をもたらした要因

なし

#### 11) プロジェクトの実施段階で成果を阻害した要因

- i) FNCA 参加国のコーディネーターは原子力推進組織の所属であるが、本プロジェクト参加国のプロジェクトリーダーは主に原子力規制組織に所属している。そのため、参加国のコーディネーターとプロジェクトリーダー間のコミュニケーション及び情報交換が十分に行われなかったと思われる。
- ii) 本プロジェクトの実施にあたって、予算及び人材の不足が大きな障壁であった。これを克服するために、本プロジェクトは ISCN/JAEA、原子力規制委員会、IAEA その他組織からの協力を受ける必要があった。

#### 12) プロジェクトから得た教訓

- i) 3 年間のプロジェクト活動を通じて、FNCA 参加国間の協力が重要であり、有益な効果であることが示された。この 3 カ年計画では、核セキュリティ・保障措置の強化を目指し、参加国において優先度の高い活動を促進した。
- ii) 参加国間に共通した課題である人材育成にも取り組んだ。核鑑識、サイバーセキュリティ等を含む原子力科学技術の応用に関連する活動の持続可能性を支援するための今後の研究開発に幅広い関心が寄せられている。
- iii) 本プロジェクトにおいて、FNCA 参加国間で技術、文化及び社会経済のみならず、原子力の現状も様々であったが、ワークショップにおいて、各国における核セキュリティ・保障措置の強化の重要性について、相互理解が達成された。
- iv) プロジェクト活動を通じて構築された専門家ネットワークは、核セキュリティ・保障措置分野におけるアジア諸国間のさらなる協力を促進及び強化する可能性を秘めている。JAEA、IAEA、アジア太平洋保障措置ネットワーク (APSN)、その他既存の多国間の枠組みとの連携を通じてプロジェクト活動を強化する必要がある。

#### 13) プロジェクトの成果を持続させるための提言

- i) 核セキュリティ・保障措置をはじめとする複数の分野における FNCA の活動を IAEA の協力を得て強化することが重要である。それ故、FNCA と IAEA が相互協力の覚書に調印することを検討してはどうかと考える。これにより、IAEA の専門家の本プロジェクトへの参加が容易になると考える。

- ii) オーストラリアは現在本プロジェクトのメンバーではないが、本プロジェクトの重要課題である核鑑識に関して、オーストラリア原子力科学技術機構 (ANSTO) は幅広い活動と専門家を有している。ANSTO の本プロジェクトへの参加を期待する。
- iii) 韓国は、本プロジェクトのメンバーであるにもかかわらず、最近、参加が得られていない。韓国は、原子力開発及び本プロジェクトの分野に関して幅広い経験を有しており、核セキュリティ・保障措置に関するプロジェクトに大きく貢献することができるであろう。日本から、韓国へ本プロジェクトへの積極的な参加を働きかけていくべきである。
- iv) ワークショップは、各参加国から 2 名 (プロジェクトリーダーと専門家) を招聘することがより適切である。
- v) FNCA は多国間協力であることから、本プロジェクトの活動の範囲と内容は限られている。それ故、本プロジェクトの結果を二国間協力 (核セキュリティ・保障措置分野における関係組織間での協力) に結び付けて、さらなる発展を図るべきである。

#### 14) 今後の方向性

本プロジェクトを継続

理由:

##### i) 背景

FNCA 参加国は、核セキュリティサミットで示された参加国の核セキュリティへのコミットメント(すなわち、4 回のコミュニケ、2016 年行動計画、各国のコミットメント、その他)の実現を促進することにより、参加国の国際的リーダーシップを維持するよう核セキュリティサミット後のプロセスに貢献する必要がある。FNCA 参加国は、IAEA 核セキュリティ国際会議の閣僚宣言 (2016 年 12 月及び 2020 年 2 月) を促進しなければならない。核物質及び原子力活動を保有する FNCA 参加国は、透明性を向上させて国際的信頼を得る必要がある。

##### ii) FNCA 大臣級会合決議 (第 19 回大臣級会合 (2018 年 12 月 6 日) 共同コミュニケ)

「加盟国の安全を確保するために、テロの脅威など、潜在的な攻撃に十分な対処ができる様、昨今注目されるサイバー攻撃に対してもろいとされる原子力施設のサイバーセキュリティを含む核セキュリティを早急に強化する必要を認め、」

##### iii) 今後の方向性 (促進すべきテーマと活動)

参加国において全般的に優先度の高い、特に、参加国の共通の関心事である、核鑑識及びサイバーセキュリティをはじめとする核セキュリティ、3S (原子力安全 (Safety)、保障措置 (Safeguards)、核セキュリティ (Security)) のための人材育成及び核セキュリティ文化の分野における原子力科学技術の応用に関連する活動を更に進める。

#### 15) 特記

なし



#### 1.4 2019 年度における FNCA 活動一覧

2019 年度における FNCA 全体の活動は、以下のとおりである。

活 動		日 程	場 所
第 20 回大臣級会合		2019 年 12 月 5 日	日 本
第 20 回上級行政官会合		2019 年 7 月 19 日	日 本
2020 スタディ・パネル		2020 年 3 月 5 日	中 止 *
第 21 回コーディネーター会合		2020 年 3 月 4 日	延 期 *
放射線 利用開発	放射線育種ワークショップ	2019 年 9 月 3 日～6 日	マレーシア
	放射線加工・高分子改質 ワークショップ	2019 年 9 月 3 日～7 日	インドネシア
	気候変動科学ワークショップ	2019 年 10 月 7 日～10 日	日 本
	放射線治療ワークショップ	2019 年 10 月 28 日～31 日	中 国
研究炉 利用開発	研究炉利用ワークショップ	2019 年 9 月 10 日～12 日	カザフスタン
原子力 安全強化	放射線安全・廃棄物管理 ワークショップ	2019 年 10 月 1 日～3 日	ベトナム
原子力 基盤強化	核セキュリティ・保障措置 ワークショップ	2019 年 11 月 26 日～28 日	フィリピン

\*新型コロナウイルス感染拡大の影響により、中止及び延期。

## 第 2 章

### 「国際会合の開催、情報収集」

## 第 2 章 国際会合の開催、情報収集

### 2.1 放射線利用開発分野(産業利用・環境利用)

#### 2.1.1 放射線育種プロジェクト

##### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日:2019 年 9 月 3 日(火)～9 月 6 日(金)
- ii) 場所:マレーシア、バンダールバルバンギ及びバンギ
- iii) 主催:文部科学省(MEXT)、マレーシア原子力庁(Nuclear Malaysia)
- iv) 参加者:バングラデシュ、中国、インドネシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナムより各 1 名、マレーシア、日本より各 4 名、合計 15 名(添付資料 2.1.2(p93)参照)
- v) 日程:添付資料 2.1.3(p95)参照

本ワークショップは、2019 年 9 月 3 日～9 月 6 日までの 4 日間、マレーシアのバンギリゾートホテル(バンダールバルバンギ)及びマレーシア原子力庁(バンギ)において開催された。

初日の午前中には開会セッションが行われ、マレーシア原子力庁副長官のズルキフリ・ビン・モハメド・ハシム氏及び農業技術・生物科学部長のアブドゥル・ラヒム・ハルン氏より歓迎挨拶があった。続いて、FNCA 日本アドバイザーの南波秀樹氏より開会挨拶が述べられた。引き続き基調講演が行われ、南波氏より、2018 年～2019 年の FNCA 活動の概要及び主な成果が紹介された。続いて FNCA 放射線育種プロジェクト日本プロジェクトリーダーの長谷純宏氏より、FNCA 放射線育種プロジェクトの主な成果及び本ワークショップにおける主な議題が説明された。続いて、ソルガム・ダイズの耐旱性育種研究について、成果の利用及び普及のフォローアップに関する報告が行われた。

午後には、「持続可能な農業のための放射線技術と突然変異育種の応用」と題した公開セミナーが開催され、大学、研究機関及び企業から 45 名が参加した。講演では FNCA 参加国における持続可能な農業のための突然変異育種研究に関する取り組みや成果などが紹介された。

2 日目には、気候変動下における低投入の持続可能型農業に向けた主要作物の突然変異育種プロジェクトに関する進捗状況及び活動計画が各国より発表された。

3 日目には、セランゴール州タンジュン・カラン及びセキンチャンの種子会社(Haji MD Nor bin Haji Abd. Rahman (M) Sdn. Bhd. (HMN) )及びイネの圃場を訪問した。HMN の認定取得種子工場では、マレーシア原子力庁が協力を行っている HMN、総合農業開発地域及び国際的な生命科学分野の企業である Bayer Co. (M). Sdn. Bhd.より活動紹介があった。イネ圃場では、マレーシア原子力庁で開発された突然変異品種である NMR152 が栽培されている様子を視察した。本訪問を通じてマレーシア原子力庁が他の政府組織、種子会社並びに農家と密に連携していることを認識した。また、プトラジャヤで開催されている国際フラワーフェスティバルを視察した。

4 日目には、気候変動下における低投入の持続可能型農業に向けた主要作物の突然変異育種プロジェクトに関する円卓討議が行われた。また、FNCA と国際原子力機関(IAEA)/原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定(RCA)との協力について発表と議論が行われた。

続いて議事録がまとめられ、2020 年度のワークショップは 2020 年 8 月にタイにおいて開催予定であることが紹介された。最後に、ハルン氏及び南波氏より閉会挨拶が行われた。

## 2) 各国発表概要

### i) 気候変動下における低投入の持続可能型農業に向けた主要作物の突然変異育種

2018 年度より開始した気候変動下における低投入の持続可能型農業に向けた主要作物の突然変異育種プロジェクトについて、各国より本年度の活動の進捗状況と活動計画が報告された。

#### a) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 A.N.K.マムン氏)

炭素イオンビームとガンマ線を照射した B11、BRRIdhan47 及び在来種 **Lombur** から 15 の優れた有望変異系統が選抜された。これらの一部は地域適応性試験実施のために送付されることになっている。これらのほとんどは、高収量、早晩性、耐倒伏性、天水条件下での栽培適性及び粒型(短粒、長粒且つ細粒)に関して選抜された。これらのほとんどはアウス期及びアマン期の両期における栽培に適している。

#### b) 中国(浙江大学 シュー・キンヤオ氏)

雑草化したイネ(雑草イネ)は、中国の直播栽培による米生産において深刻な有害生物となっている。雑草イネを駆除する除草剤に耐性を有するイネの突然変異体を作成するために放射線技術が利用された。このような突然変異系統がこれまでに 1 系統得られ、圃場での実証が行われており、その他 4 つの品種について、さらなる突然変異集団が育成されている。加えて、早生及びその他のタイプの突然変異体が単離され、試験を行っているところである。

#### c) インドネシア(インドネシア原子力庁 アーウィン氏)

「Rojolele」に由来する 2 つの有望な突然変異系統、「Rojolele Srinar」及び「Rojolele Srinuk」が新品種として公開される予定である。「Rojolele Srinar」の潜在収量は 9.75 t/ha、平均収量は 8.07 t/ha であり、アミロース含量は 23.3%である。「Rojolele Srinuk」の潜在収量は 9.22 t/ha、平均収量は 8.07 t/ha であり、アミロース含量は 15.9%である。

#### d) 日本(量子科学技術研究開発機構 長谷純宏氏)

適切な変異誘発の実施には、誘発突然変異の数とタイプに関する情報が非常に重要である。ハイスループットシーケンシング技術における近年の進歩は突然変異の分子的特質の理解を大きく加速させたが、ガンマ線によって誘発される突然変異を特徴づけるための研究はほとんど実施されていない。電離放射線による誘発突然変異のより完全な全体像を提供するため、シロイヌナズナにおけるガンマ線及び炭素イオンの急/緩照射による誘発突然変異の定量的及び質的特性評価を行った。

#### e) マレーシア(マレーシア原子力庁 ソブリ・ビン・フセイン氏)

マレーシア原子力庁は、2019 年 4 月 29 日に認定取得種子会社 HMN 社及び Bayer 社との覚書に署名し、突然変異育種分野において一歩前進した。この合意により、HMN 社はマレーシア原子力庁が開発したイネ変異体の認定済種子を生産、増殖、商業化するためにマレーシア原子力庁を支援している。一方、圃場試験においても、主に肥料及び農薬施用の低減により生産コストが 10%削減されたことが示された。

#### f) モンゴル(植物農業科学研究所 アリウンゲレル・マンダク氏)

コムギ突然変異品種 **Darkhan-172** が、2018 年にモンゴルの高山地域のための耐旱性品種として登録された。地域適応性試験及び種子増産のため、コムギ突然変異系統 **Darkhan-122**

が、トゥブ県のボルヌウルソウム、ウブルハンガイ県のカルクオルム及びドルノド県の試験場において栽培されている。

Omskaya-38、Toboyskaya コムギ品種及び Alagerdene オオムギ品種に対し、生育期間の短縮並びに収量安定性及び耐倒伏性の強化のために、多様な線量のイオンビームとガンマ線をそれぞれ照射した。2019 年には、M1～M4 世代の計 3,296 個体のコムギ突然変異系統及び計 2,800 個体のオオムギ突然変異系統が栽培された。完全なデータは、2019 年 10 月の収穫後に得られる予定である。7 つのイネ品種 (M2～M6 世代) について、モンゴルの条件下での早生及び高収量に関する試験を行った。

g) フィリピン(フィリピン原子力研究所 フェルナンド・アウリゲ氏)

低投入の持続可能型農業のための突然変異育種については伝統的なイネ品種、特に Azucena に焦点が当てられてきた。Azucena は優れた食味品質をもつ芳香性の熱帯ジャポニカ米であり、ルソン島のコルディリエラ、西・東ビサヤ及びミンダナオ島の一部において好まれている陸稲品種であるが、一方で草丈が非常に高いため倒伏しやすく、分けつ性が低く、本質的に収量が低い。

目標は、原品種と同程度の穀粒品質で、農業特性及び収量特性が改良された突然変異品種を開発することである。評価された突然変異体の中で、12 の系統が Azucena と比較して草丈が有意に低く、より早生であり、分けつ数が多く、穂数及び小穂数が多く、より高収量であった。しかしながら、Azucena の細い形状、柔らかい食感、低アミロース含量及び高い糊化温度を保持していた。

h) タイ(タイ米作局 カンチャナ・クラカエン氏)

- ① イネの生産コストは、最大収量に影響を与える優れた種子と優れた管理によって決まる。
- ② 植物の生長促進に有用な微生物である植物生長促進根圏細菌 (PGPR) の施用により、イネにおける土壌からの水分及び養分の吸収効率が増大した。
- ③ イネの生産コスト削減のため、土壌分析 (従来 of 施用との比較) により PGPR+75% 窒素肥料の施用をイネ生産に利用することが可能である。

i) ベトナム(ベトナム農業遺伝学研究所 レ・ドゥック・タオ氏)

2008 年から 2019 年にかけて、ガンマ線により、ベトナムは 13 の新しい突然変異品種を公開した (イネ 11 品種及びダイズ 2 品種)。うち極めて優れたイネ品種は、Khang dan 突然変異体、DT39 Quelim 及び DT80 である。ダイズに関しては、DT2008 が我々のダイズ育種の歴史の中で最も高い収量と耐性能をもつ優れた品種である。さらにベトナムは、突然変異法による初めての黒ダイズ品種 DT2008DB を育成した。これは DT2008 とほとんど同じ特性、栄養価の高さ及びオメガ脂肪酸含量を有しており、食用として非常に優れている。

この他、イオンビーム照射により、さらなる評価に向けた有望なイネ突然変異系統を得ている (6 系統 (M7 世代)、6 系統 (M6 世代)、31 系統 (M5 世代)、39 系統 (M4 世代)、145 系統 (M2 世代))。ダイズに関しては、短稈 (原品種より 10 cm 短い) や早生等のいくつかの優良品種が見つかっている。

今後有望系統に関する試験を継続し、イオンビームによるラッカセイ等のその他の作物の照射についてさらなる支援が必要である

ii) 過去に終了したサブプロジェクトのフォローアップ

過去に終了したソルガム・ダイズの耐旱性育種研究について、成果の利用及び普及に関するフォローアップの報告が行われた。

a) ソルガム・ダイズの耐旱性育種(インドネシア原子力庁 アーウィン氏)

インドネシアにおけるダイズ研究には次の 4 つのテーマ;(a) 早生(75 日未満)及び極早生(70 日未満)のための品種改良、(b) 非生物ストレス(干ばつ、酸性土)耐性のための品種改良、(c) 黒ダイズ品種の大粒化のための品種改良及び(d) 耐陰性向上のための品種改良、がある。

非生物ストレスに対するダイズの耐性、特に耐旱性の向上のために、親品種から有望な 6 つの突然変異系統を育成し、うち 2 つを「Kemuning 1」及び「Kemuning 2」と名付け、新品種として公開した。これらの品種の潜在収量は 3.51 t/ha であり、平均収量は 2.87 t/ha である。早生に関するダイズ品種改良のために、我々は 6 つの有望な突然変異系統を育種し、インドネシア国内の多数の場所及び多数の州において地域適応性試験を実施した。黒ダイズ品種の大粒化及び耐陰性向上については、突然変異体選抜、純化及び地域適応性試験を実施した。

### 3) ワークショップのまとめ

本ワークショップにおける討議の結果、新たなフェーズにおいては低投入条件への適応力が主なターゲットとなることが強調され、以下の事項が確認された。

- i) 全ての参加国は、化学肥料及び化学農薬等の低投入により持続可能な農業を目指して努力している。
- ii) 窒素利用効率の向上は、今後多収の突然変異品種を育成するために重点的に取り組むべき主要なターゲットの 1 つである。
- iii) 根系は、低投入条件下での多収について考察するための 1 つの重要な特性である。
- iv) 本プロジェクトで得られた突然変異体は、優良品種の育成に向けて有用な遺伝子を特定するための貴重な資源である。
- v) 突然変異品種及び最適化された栽培方法(化学肥料・化学農薬の最小限利用、有機肥料の利用増大等)の併用が、持続可能な農業を実現するための 1 つの方法である。

## 2.1.2 放射線加工・高分子改質プロジェクト

### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日: 2019 年 9 月 3 日(火)～9 月 7 日(土)
- ii) 場所: インドネシア、ジョグジャカルタ
- iii) 主催: 文部科学省(MEXT)、インドネシア原子力庁(BATAN)
- iv) 参加者: 中国、マレーシア、カザフスタンより各 1 名、バングラデシュ、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナムより各 2 名、インドネシアより 8 名、日本 4 名、合計 25 名(添付資料 2.2.2 (p117) 参照)
- v) 日程: 添付資料 2.2.3 (p120) 参照

本ワークショップは、2019 年 9 月 3 日～9 月 7 日の 5 日間、インドネシア・ジョグジャカルタのロイヤル・アンブルクモ・ジョグジャカルタホテルにおいて開催された。

初日の午前には、インドネシア原子力庁(BATAN)副長官(原子力技術利用)兼 FNCA インドネシアコーディネーターであるヘンディグ・ウィナルノ氏、FNCA 日本コーディネーターである和田智明氏及び BATAN 科学技術推進長代理兼原子力工科大学長兼インドネシア原子力エキスポ(NEXPO)コーディネーターであるエディ・ギリ・ラフマン・プトラ氏より、開会の挨拶が述べられた。続いて、和田氏より 2018 年～2019 年にかけての FNCA 活動の成果が報告された。2018 年度 FNCA 大臣級会合では、参加国における放射線加工・高分子改質の研究開発成果について、民間セクターによる利用の促進が奨励されたことが紹介された。午後には、8 ヶ国より、バイオ肥料に関する現在の活動について進捗報告が行われた。

2 日目には、10 ヶ国より、放射線加工・高分子改質に関する現在の研究について、進捗報告が行われた。続いて、参加者は研究テーマに基づき 7 つのグループに振り分けられ、グループ討議を行った。その研究テーマとは、「放射線分解したキトサンの動物飼料応用」、「ハイドロゲルの医療応用」、「環境修復」、「植物生長促進剤(PGP)、超吸水材(SWA)及びバイオ肥料の相乗効果」、「植物生長促進剤(PGP)及び超吸水材(SWA) (プロセス開発を含む)」、「ガンマ線照射によるバイオ肥料の微生物育種」、「ガンマ線照射によるバイオ肥料のキャリア滅菌」である。

3 日目には、BATAN がオリゴキトサン(製品名「Fitosan」)及びバイオ肥料(製品名「IMR」)のフィールド試験を実施しているクロン・プロゴ県の 2 つの村を視察した。サミガル郡グルボサリ村では、オリゴキトサンをキク(菊)に適用している。オリゴキトサンはキクの草高に影響を与え、オリゴキトサンを散布したキクは対照群と比較して草高が非常に高かった。花はまだ咲いておらず、収穫時期は視察の 1 か月後になる予定である。さらにオリゴキトサンを散布したキクは、対照群よりも健康であった。対照群の葉にはカビによる斑点が生じていたが、オリゴキトサンを散布したキクの葉には病変が見られず、葉の緑色がより強かった。このキクは、2020 年に日本に輸出されることになっている。同じくサミガル郡ゴタアン村では、ネギとトウガラシにオリゴキトサン及びバイオ肥料が適用されている。オリゴキトサンとバイオ肥料で処理したネギとトウガラシは、対照群と比較して塊茎の数が多かった。どちらの試験場においても、100 ppm のオリゴキトサンを、2 週間ごとに葉面散布している。

4 日目には、本ワークショップと並行して 9 月 2 日～7 日までロイヤル・アンバルクモ・ジョグジャカルタホテルにおいて開催されたインドネシア原子力エキスポ 2019(NEXPO)の一環である

シンポジウムに出席し、口頭発表とポスターセッションを行った。本エキスポには 600 名（発表者及びオブザーバー 514 名、出展者 86 名）の参加があった。シンポジウムの開会に際し、インドネシア政府、ジョグジャカルタ市政府及び関連機関の代表者が歓迎の挨拶を述べた。FNCA からは、タイのプロジェクトリーダーであるフィリヤトーン・スワンマラ氏及び東京理科大学の花輪剛久氏が、招聘講演者としてパラレルセッションで発表を行った。その他の FNCA 参加者も、それぞれの研究活動とその成果について発表を行った。

5 日目は、プロジェクトの将来計画を改善するため、2 日目に行われた討議結果のレビューを行い、それぞれのグループの計画をより良いものにするための提案を行った。

## 2) セッションにおける各国発表概要

バイオ肥料の研究開発に関する進捗状況について、以下のとおり発表が行われた。

### i) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 カムルザマン・プラマニク氏)

#### a) キトサン(PGP)及びアゾスピリウム属細菌(バイオ肥料)の組み合わせによるイネに対するバイオ肥料の相乗/複合効果

PGP としてのキトサンとイネのバイオ肥料としてのアゾスピリウム属細菌の組み合わせによる相乗効果を調査するために、セミフィールドレベルの実験を実施した。6 種類の処理、つまり T1:100%の化学肥料、T2:40%の化学肥料、T3:40%の化学肥料+100 ppm のキトサン、T4:40%の化学肥料+100 ppm のキトサン+バイオ肥料、T5:40%の化学肥料+バイオ肥料、T6:対照区(無処理)を 3 通り適用した。

試験用イネの品種として BRRI-129 を選択し、分けつの高さの数、円すい花序の長さ、穀粒収量を含むいくつかのパラメーターを評価して、キトサンとバイオ肥料の相乗効果が存在するかを判別した。その結果、分けつの最大高さ(93.98 cm)と最大数(盛土あたり 17.89 本)が T1 で観測されたが、これらのパラメーターに関する相乗効果は検出されなかった。最長穂長(24.46 cm)、最大粒数/穂数(194.12)及び最大わら重が同処理(T1)で検出されたが、これらのパラメーターは他の処理では影響を受けなかった。T4 の粒径は、1,000 粒子重量に基づいて測定したときに最大 3.07%増加したが、有意なレベルではなかった。T4 では、イネの穀物収量(t/ha)が対照群と比較して最大 4.41%増加したが、相乗効果によるものではなかった。総合的な結果として、キトサン(100 ppm)とバイオ肥料を化学肥料(40%)と併用することで、粒径及び収量に関してある程度の影響がみられる。

#### b) PVA ハイドロゲルにキトサンを追加することによる抗菌作用の付与

ポリビニルアルコール(PVA)からできたハイドロゲルは、潜在的な可能性と、傷の治癒及び火傷被覆を含む様々な生物医学的用途を有する材料である。PVA は他の天然高分子(例えば、 $\kappa$ -カラギーナン)とともに、通常、ガンマ線によって加工され、柔軟で透明、機械的に安定し、経済的で生体適合性のあるハイドロゲルを生成する。バングラデシュでは、電離放射線によって生成・加工されたハイドロゲルが数年にわたって使用されている。これはPVAのみ又はPVAに $\kappa$ -カラギーナンをプラスして作られており、放射線による加工と滅菌が同時に行われている。キトサンは天然高分子であり、その抗菌作用はガンマ線照射によって獲得又は増強されるため、コバルト-60( $^{60}\text{Co}$ )線源によるガンマ線で照射して、ゲルに抗菌特性を与えるために、キトサンを PVA に組み入れる取り組みが行われた。この実験では、2.0%酢酸に 2.0%のキトサン



を溶解させた溶液と、1.0%酢酸に1.0%のキトサンを溶解させた溶液を、蒸留水に溶解させた20%PVA水溶液の同量と混合し、10%PVA水溶液中にそれぞれ1.0%と0.5%のキトサンを含む混合溶液を得た。型に流し込んだ後、この材料に<sup>60</sup>Coガンマ線源による25.0 kGyの線量を照射した。次に、滅菌ボラでゲルディスクを作製し、グラム陽性菌(黄色ブドウ球菌(*Staphylococcus aureus*))及びグラム陰性菌(大腸菌(*E. coli*))の両方に対する抗菌作用についてミューラー・ヒントン寒天培地でのディスク拡散法で試験した。試験の結果、キトサンを含有するゲルが、濃度に依存する形で抗菌作用を示すことが阻止円直径の測定で明らかとなり、グラム陽性菌の方がグラム陰性菌と比べて感受性が高いことが見出された。抗菌特性に加えて、キトサンを組み入れたPVAハイドロゲルでは物理的パラメーターのいくつか(例えば、膨潤率、多孔性など)も向上することが示された。しかしながら、その最終利用の前には、適合性と生体親和性の問題を最適化し確認するために、さらなる試験と追跡が必要である。

ii) インドネシア(インドネシア原子力庁 ナナ・ムルヤナ氏)

気候変動及び天然資源の誤った管理により、土地の劣化に影響が及ぼされた。この状況は、農業の持続可能性と環境を乱す可能性があり、土地の戦略機能を修復させるために包括的な努力が必要である。土地の生物学的環境修復(生物による環境修復技術)は、植物の根圏の生態系を向上させるための取り組みである。地元の有機物の使用及び選抜機能微生物の接種は、極端な環境ストレス下での土地の修復に不可欠である。選抜微生物株は、カルチャーコレクションから選抜された株の機能を研究及び強化することで得られる。<sup>60</sup>Coガンマ線照射は、特に選抜菌株といった選抜株の機能を向上させるために利用できる可能性がある。<sup>60</sup>Coガンマ線の利用により、高度な無菌性を有し、品質が保証されたキャリアを製造することができると証明された。機能微生物と地元の有機物の接種による土地の生物学的環境修復は、根圏の生態系の向上及び土地の戦略的な機能の修復のための代替案となることが期待されている。

iii) 日本(東京農工大学 岡崎伸氏)

我々は東京農工大学(東京)の圃場から植物生長促進菌株をスクリーニングし、TUAT1株を分離した。この株は*Bacillus pumilus*と同定された。TUAT1株はイネ及びアブラナ科を含む複数の植物の生長を促進する。TUAT1を用いてイネ用バイオ肥料が開発され、これは日本で「キクイチ」として商品化されている。

一方、寒天培地で一緒に培養した場合、TUAT1株が一部の植物病原糸状菌の生長を阻害することが見出された。様々な植物病原糸状菌に対する*Bacillus pumilus* TUAT1株の生物学的防除作用と機構を理解するために、生物学的防除のスペクトルの評価と、TUAT1株の生物学的防除作用因子の特定をおこなった。これまでの解析で、TUAT1株がいくつかの病原糸状菌の成長を阻害する能力を有することが見出された。中でも、TUAT1株が、世界で最も深刻なダイズの病気の1つであるダイズ根腐病の原因である*Calonectria ilicicola*の成長を強く阻害できることがわかった。ポット試験において、TUAT1株がダイズ根腐病の発生を抑制し、ダイズの生長を促進する能力を有することもわかった。さらに、TUAT1株とともにオリゴキトサンでダイズを更に処理すると、病害防除とともに種子の生産も強化することができた。TUAT1株によって生成される生物学的防除作用因子を更に分析し、生物学的防除機構の解明とさらなる利用を目指す。

iv) マレーシア(マレーシア原子力庁 フア・チュー・クワイ・フェ氏(代理発表:同庁 マズナ・ビンテ  
イ・マフムド氏)

マレーシアのバイオ肥料市場は現在、液体多機能バイオ肥料製品に重点を置いている。多数の農家、特に稲作農家が、バイオ肥料製品を求めてきた。様々な水田区画でバイオ肥料の試験が実施され、有望な収量をあげていた。マレーシア原子力庁は、多機能バイオ肥料(Bioliquifert)を商品化した。AP1、M99 という 2 種類の多機能バイオ肥料が現在商品化の過程にある。バイオ肥料微生物の多機能作用の向上がガンマ線照射によって行われた。*Acinetobacter baumannii*、*Acinetobacter calcoceticus* という 2 種類のガンマ線照射バイオ肥料微生物が作成されている。窒素及びリン酸塩可溶化遺伝子(*nif* 遺伝子及び *pqq* 遺伝子)に対する突然変異効果が調査された。放射線加工したキトサンとバイオ肥料との相乗効果がトウモロコシと野菜類で調べられた。温室実験においては、放射線処理したキトサンとバイオ肥料の野菜類への相乗効果は生じなかった。試験区法でのトウモロコシへの放射線加工キトサン、バイオ肥料と化学肥料又は有機肥料との組み合わせでは、従来の農地と比較して有望な収量が得られた。バイオ肥料キャリアのガンマ線滅菌では、20 kGy で、細菌、真菌及び放線菌を死滅させられることが示された。今後のバイオ肥料研究では、多機能バイオ肥料、突然変異誘発バイオ肥料微生物、ガンマ線照射育種トマト種子による種子処理バイオ肥料、経費を節減しての放射線加工キトサン混合バイオ肥料の開発及び新たなバイオ肥料キャリアを使用したガンマ線滅菌に焦点が当てられることになる。

v) モンゴル(植物農業科学研究所 オトゴンバヤル・スンジドマー氏)

トマト及びコショウの生長と収量を特定するため、バイオ肥料とオリゴキトサンの相乗効果が評価された。実験は、2 つの複製を用いて分割プロットデザインで実施された。それぞれの複製では、9 つの植物を使用した。温室におけるバイオ肥料及び照射オリゴキトサンの相乗効果試験では、トマトとコショウに対する植物生長促進効果といった、いくつかの好影響が見られた。オリゴキトサンとバイオ肥料を適用した区画では、対照群に比べて高効率で植物の緑色分が 30~35% 多く、栄養生長、開花、果実形成が 5~7 日早かった。

vi) フィリピン(フィリピン大学ロスバニョス校 ジュリエッタ・A・アナルナ氏)

化学肥料の多量施用は、土質、環境及び人間の健康のかく乱をもたらす。そのため、化学肥料への依存を減らして農作物を強化するために、輸入化学肥料に代わる、より費用効率の高い肥料を求めて、バイオ肥料の研究が行われている。バイオ肥料としての微生物の使用は農作物の持続可能な生産のために重要な役割を果たす。バイオ肥料は、上がり続ける化学肥料のコストに対し、より安価な代替策であり、ずっと低いコストで作物生産を増大させることができ、またそれにより、農家の収入を増大させることができる。

本年、試験作物としてトウモロコシを用いて、BIOTECH-UPLB で市販されているバイオ肥料(Bio N(*Azospirillum*) 及び Mykovam(*Mychorhiza*))の単独及び複合接種の効果を決定するために、3 つの実験が実施された。植物生長促進剤である放射線加工カラギーナンは、フィリピン原子力研究所(PNRI)製で海藻抽出物を粉末化したものであるが、これも Bio N と組み合わせて評価された。全ての実験の現地条件は、BIOTECH の展示圃場及びフィリピンの州の 1 つ(バタンガス州タナウアン)において、4 反復の完全乱塊法(RCBD)で設定された。各研究ではそれぞれ異なる処理が使用された。2018 年 9 月から 11 月に行われた、化学肥料と

Bio N 接種の効果を調べる研究 1 では、使用された処理は、T1-化学肥料全量及び T2-化学肥料全量+Bio N であった。Bio N と Mykovam の複合接種研究には、次の処理が使用された：T1-対照群、T2-化学肥料全量、T3-化学肥料全量+Bio N、T4-化学肥料 1/2 量+Bio N、T5-Bio N+Mykovam 及び T6-化学肥料 1/2 量+Bio N+Mykovam。相乗効果研究のためには、次の処理が使用された：T1-対照群、T2-化学肥料、T3-化学肥料 1/2 量、T4-Bio N、T5-Bio N+化学肥料、T6-Bio N+化学肥料 1/2 量、T7-カラギーナン、T8-カラギーナン、T9-カラギーナン+化学肥料及び T10-カラギーナン+Bio N。各標準地から収量データが収集され、計算された。研究 1 から得られたデータは、未接種の区画と比べて 29.22%の増大であり、プラスの効果を示している。研究 2 の結果では、化学肥料 1/2 量を Bio N、Mykovam と併用して処理した植物から収穫したトウモロコシの平均重量が、化学肥料全量で施肥された区画と比較的類似していることが示された。この研究では、収量が最高となったのは Bio N とカラギーナンで処理された区画の両方で、ヘクタール当たりそれぞれ 15.96 t 及び 15.87 t であり、対して化学肥料ではヘクタール当たり 14.16 t にとどまることが明らかになった。Bio N とカラギーナンの接種と施用により、1.80 t 増加した。バイオ肥料の施用は、単独接種、複合接種を問わず、試験作物の生産性を改善している。国立分子生物学・バイオテクノロジー研究所(National Institute of Molecular Biology and Biotechnology)は引き続きバイオ肥料の使用を促進し、フィリピン国内の農家に拡大させている。20 kGy のガンマ線照射を用いた Bio N バイオ肥料キャリアの滅菌が利用されている。

vii) タイ(タイ農業局 クンラヤコーン・プロンジュントウック氏)

粉末状の根粒菌バイオ肥料には、キャリアの汚染の問題があった。したがって、種子粉衣や粘着性物質なしに直接種子に混ぜて使用可能である、使用に便利な液体形態の肥料の研究が行われた。標準製剤として酵母マンニトール培地(YM)を用いての、カルボキシメチルセルロース(CMC)、可溶性澱粉及び酸化マグネシウム(MgO)等の様々なポリマーを含有するリョクトウの根粒菌バイオ肥料の液体製剤と製品保持期間の研究が行われた。研究結果は、YM + MgO 1 g/L で根粒菌が良好に生育し、室温で貯蔵 180 日後の生存量は  $2.18 \times 10^9$  コロニー/ml であったことを示した。

キャリアとして発酵牛糞を用いたリン酸可溶化バイオ肥料は不均一で汚染されている。したがって、非常に効果的な細菌を選択することによって、噴霧乾燥機による粉末形態での製造モデルを開発するために、粉末形態での製造と製品の貯蔵のための最適な条件を調べた。研究結果は、*Pseudomonas fluorescents* SM-P025B が、110 及び 120°C で噴霧乾燥後、80%を超える生存率を示し、製品は 92.31%という最も高いトマト発芽率を生じた。4°C 及び室温で 6 か月間貯蔵すると、それぞれ生存量がバイオ肥料 1 グラム当たり  $2.18 \times 10^8$  及び  $1.16 \times 10^8$  コロニーとなり、これは肥料法(Fertilizer Act)の規定を超えるものであった。

viii) ベトナム(ベトナム原子力研究所 チャン・ミン・クイン氏)

この実験では、窒素固定菌(*Azotobacter chroococcum* VACC 86)及び IAA 生産菌(*Bacillus megaterium* VACC 118)を含有する粒状微生物肥料を作製した。簡略に言えば、菌株は、土壌・肥料研究所(Soils and Fertilizers Research Institute)の培養コレクションから選定し、対応する発酵媒体中で活性化し、培養した。次に、それぞれ密度約  $7.5 \times 10^7$  及び  $2.5 \times 10^{10}$  CFU/g の *A. chroococcum* 及び *B. megaterium* の静止期培養物を、2%のアルギン酸ナトリウムと 33%

の放射線改質キャッサバ澱粉のキャリア混合物中で均一に懸濁した。得られた溶液を 2.5% 塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ) 溶液中に落下してビーズ状に沈降させた。細菌を含有したビーズは、更に 30 分間、アルギン酸ナトリウムとカルシウムイオン間の架橋によって安定化し、次に、10%未満の限界水分まで乾燥した。ビーズ中の生存細菌の密度は、TCVN 6166:202 及び TCVN 8736:2011 に従って、7、30、90 及び 180 日目に定期的に測定した。研究結果は、得られた微生物肥料中の菌体密度は 6 か月間の貯蔵後も依然として  $10^8$  CFU/g よりも高いことを示していた。

得られたビーズをヘクタール当たり 20 kg の割合で野菜に施用した結果、この肥料が、スクリーンハウス及び圃場の両方で栽培されたキャベツ、トマト及びラディッシュの生長を促進する可能性があることが明らかとなった。こうして作成された肥料を NPK (窒素・リン酸・カリウム) とともに施用すると、沖積土で生長したキャベツの結球率、球の新鮮重及び収量が大幅に増大した。これらの結果はまた、無機肥料を低減して処理された植物 (現地標準として 80%NPK) でも観察された。したがって、微生物肥料は、環境汚染を低減し、気候変動に適応するために、持続可能な農業のための潜在的なソリューションとして、部分的に化学肥料に取って代わることができる。

放射線加工技術を用いた高分子改質の研究開発について、以下のとおり発表がなされた

i) バングラデシュ (バングラデシュ原子力委員会 サイフル・ラハマン氏)

a) トウガラシ (*Solanaceae Genus*) 及びイチゴ (*Fragaria ananassa*) に対する植物生長促進剤としてのオリゴキトサンの適用

2018 年 12 月から 2019 年 5 月にかけて、バングラデシュのダッカ、シャバールの原子力研究所の敷地において、トウガラシとイチゴの生長と経済的収量に対するオリゴキトサン施用の効果を調べるために、セミフィールド実験及びポット実験を実施した。オリゴキトサンの葉面散布を収穫まで 10 日ごとに行った。植物の生長と生産性の両方へのオリゴキトサンの効果を、果実の総数、果実の総重量、収穫期間及び%収量について調査した。トウガラシについては、実験は 4 つのレベルのオリゴキトサン濃度、すなわち、0 (対照群)、50、75 及び 100 ppm で行われた。実験結果は、75 及び 100 ppm の濃度でのオリゴキトサンの葉面散布で有意な効果があったことを示した。生産性は、対照群と比べ、75 及び 100 ppm についてそれぞれ最大 89% 及び 146% 増大した。イチゴのポット実験では、使用されたオリゴキトサン濃度は、0 (対照群)、25、50、75 及び 100 ppm であった。全ての濃度の中で、25 及び 75 ppm が有意な結果を示した。実験結果は、イチゴの生産性が 25 及び 75 ppm についてそれぞれ最大 54% 及び 48% 増大したことを示した。実験を行ったどちらの植物についても、オリゴキトサンは対照群と比べて収穫期間を短縮させた。これらの結果は、トウガラシで 75 又は 100 ppm、イチゴで 25 又は 75 ppm でのオリゴキトサンの葉面散布が、これらの植物の生長と収量を最大化するための最適な濃度である可能性を示唆している。

b) ガンマ線照射により特性が改善された PVA とキトサンのハイドロゲル創傷被覆材の調整

ガンマ線の照射による、様々な親水性高分子からのハイドロゲルの作製と特性評価への取り組みが進められている。ガンマ線 (25 kGy) により生物医学的用途向けに 10%ポリビニルアルコール (PVA) 及び 1%  $\kappa$ -カラギーナンから作成されたハイドロゲルは、ダッカのウッタラ

(Uttara)にある Uttara Adhunik 医科大学病院において 2011 年 3 月から臨床試験に供されており、この優れた創傷被覆材は火傷に使用されている。このハイドロゲルの活用の方と受容性を拡張する取り組みとして、他の医科大学へのこのハイドロゲルの供給が試みられている。20、30 及び 40°C でハイドロゲルの実行性調査では、ハイドロゲルの使用は実験を行った温度範囲にわたって実施可能であることが示された。ハイドロゲルの通常の無菌性チェックは、バングラデシュ原子力委員会(BAEC)の食品・放射線生物学研究所、微生物・工業照射部からのバッチごとに行われる。ハイドロゲル創傷被覆材の品質を強化し、改善する取り組みの一環として、線量 25 kGy のガンマ線によって、PVA10%とともに、キトサン含有量が(A)1%、(B)0.5% (1%酢酸)、(C)0.5% (0.5%酢酸)及び(D)0%の、キトサン含有ハイドロゲルを作製した。1%キトサンを含有するハイドロゲルのゲル分率と架橋密度は最も低く(90%)、このハイドロゲルの%膨潤率(〜500%)は最も高い。ハイドロゲル試料 B と C の間では、B の方が低い%ゲル(〜95%)となり、したがって、こちらの方が高い%膨潤率(〜400%)を生じている。作製された試料の抗菌作用は BAEC の食品・放射線生物学研究所、微生物・工業照射部で確認され、全ての試料についてプラスの結果が見出された。医療用途でのハイドロゲル含有キトサンの最適化のためにはさらなる調査が必要である。

ii) 中国(上海応用物理研究所 マ・ホンジュアン氏)

<sup>60</sup>Co ガンマ線と電子線照射を使用して、高分子繊維にアクリル酸、アクリロニトリル、メタクリル酸グリシジル等を含むモノマーの事前照射グラフティングを行うことによって、一連の繊維状吸着剤を作成した。元の繊維及び改質後の繊維について、一連の特性評価方法を用いて特性評価を実施し、繊維への官能基の付着を示した。機能性繊維の吸着容量を、クロム(VI)(Cr(VI))、カドミウム(VI)(Cd(VI))、ウラン(VI)(U(VI))等の様々な金属イオンを含有する水溶液中で調べた。破壊強度試験により、繊維状吸着剤は良好な機械的特性と長い耐用寿命を維持できていることが確認された。

澱粉ベースの超吸水材(SWA)が、複合照射によって誘発されるアクリレート類のグラフティングと架橋によって作製された。吸水率は、脱イオン水中で 350 g/g、0.9wt%の塩化ナトリウム(NaCl)水溶液中で 50 g/g に達する可能性があり、中国の農業業界規格の判断基準を満たしている。この SWA は中国西部で砂漠化制御のために使用されている。砂漠での典型的な植物の生存率は、ある含有量の SWA を用いることで大きく向上した。

iii) インドネシア(インドネシア原子力庁 ダルマワン・ダルウィス氏)

インドネシア原子力庁(BATAN)は、ミネラル除去、除タンパク及び脱アセチル化プロセスを用いてキトサンを生成し、次に、ガンマ線照射を行って、エビの殻から照射キトサン(オリゴキトサン)を作製することに成功した。オリゴキトサンは植物生長促進剤(PGP)、植物エリシター、家畜飼料添加剤、医薬品及び化粧品並びに医療用途での生物医学材料として使用されていることは良く知られている。このレポートでは、オリゴキトサンは、PGP 及びキク属(*Chrysanthemum*)の葉さび病を抑制するための植物エリシターに使用され、また、反芻動物(ウシ及びヒツジ)と雌鶏の飼料添加剤として使用された。キク属植物では、オリゴキトサンを 3 か月間、週に 1 回、100 ppm の濃度で葉面散布した。ポジティブコントロールとして、キク属植物には、Hyponex 及び Extragreen 液体肥料を散布した。一方、家畜飼料添加剤については、濃縮家畜飼料に濃度 300 ないし 500 ppm でオリゴキトサンを添加し、対照としてオリゴキトサン

添加なしの濃縮家畜飼料を用いた。家畜には、40 日間毎日、この調整物を与えた。結果は、オリゴキトサンで処理されたキク属植物 (PN 品種) の収穫期間 (112.33 日) が、Hyponex (121.33 日) 及び Evergreen (123 日) で処理されたキクと比べて短かったことを示した。オリゴキトサンが葉さび病を抑制したことが観察された。すなわち、対照群 (36.13%) と比べ、この病気をもつキク属植物は 21.53% のみであった。家畜飼料添加物としてオリゴキトサンを使用することにより、パスンダン (Pasundan) のウシで、オリゴキトサンの濃度が上がるにつれて体重増加がみられた。0、300、400 及び 500 ppm の濃度でのオリゴキトサンを 40 日間使用した後の体重増加はそれぞれ、5.2、9.8、10、13.8 kg であったことが示された。また、これと同じ傾向はヒツジと雌鶏での体重増加についても観察された。これに加えて、オリゴキトサンは、鶏卵の重量も増大させた。オリゴキトサンは、PGP 及びキク属植物の葉さび病を抑制するための植物エリシターとして有効であり、また、パスンダンのウシ、ヒツジ及び雌鶏の体重を増加させたと結論付けることができる。

iv) 日本 (東京理科大学 花輪剛久氏)

経口製剤は、その便利さのために薬物療法において頻繁に使用されるが、苦いか又は嫌な味の薬品では支持されなくなる可能性がある。肝臓初回通過効果による生物学的利用能の低下も、経口製剤の懸念事項である。他方、経皮吸収タイプの薬品は無臭であり、肝臓初回通過効果を回避することができ、幼児や嚥下障害のある高齢の患者等、嚥下機能が発達していない患者に適用可能である。経皮吸収製剤は特に、副作用が発生したら剥離することによって直ちに投与を中止することができるという利点を有している。しかしながら、薬剤の皮膚透過性は皮膚の状態に依存し、また、個人差があるため、皮膚透過性を改善するための技術及び薬物キャリアが検討され、開発されている。

近年、経皮吸収可能製剤の 1 つとして、ゲル製剤が注目を集めている。ゲルは、三次元網目構造の隙間に親水性又は疎水性溶媒を組み入れることができる半固形製剤であり、ゲル中の液相の性質に基づき、水を含有するハイドロゲルと有機溶媒を含有するオルガノゲルに分類される。

ハイドロゲルは大量の水分を三次元網目構造中に保持することができ、紙おむつ、ソフトコンタクトレンズ、植物用の水分保持材等のための吸収体として使用される。ハイドロゲルはまた、他の合成生体適合性材料と比べて、生物組織に近い構造を有していることから医用材料に適しており、さらなる開発が期待されている。医用ハイドロゲルとしての実際的な用途の例には、傷の湿潤によって治癒を促進するハイドロゲルタイプの創傷被覆材及び過剰な滲出液を吸収する過剰滲出液吸収材が含まれる。

ハイドロゲルの一般的な作製方法には、化学的及び物理的架橋法が含まれる。化学的架橋法には、ポリマー鎖の共有結合架橋を形成するために、グルタルアルデヒド及び 1-エチル-3-(3-ジメチルアミノプロピル)カルボジイミド塩酸塩 (EDC) や N',N'-ジシクロヘキシルカルボジイミド (DDC) 等の化学架橋剤を加えることが関わる。しかしながら、EDC 及び DDC は生体にとって非常に毒性が高く、重度の皮膚アレルギーや、残留架橋剤による細胞毒性等の皮膚炎症及び有機溶媒による発疹や発赤を引き起こすため、より安全な製剤方法が要求される。一方、架橋剤を使用しない物理的架橋法には、凍結解凍法 (この方法では、氷と巨大分子は水性ポリマー溶液を凝固点以下に冷却することによって分相されるため、高分子鎖の局所濃

度が局所的に増大し、ポリマー鎖間の非共有結合により架橋構造が形成される)、ガンマ線照射法及び電子線照射法(これらの方法では、ガンマ線又は電子線照射を受けるポリマーによって生成されるラジカルにより、架橋、劣化及び重合が起こる)が含まれる。電子線架橋法は残留架橋剤による毒性の問題を防ぐことができる可能性がある。ハイドロゲルは、ヒドロキシプロピルセルロース(HPC)やメチルセルロース(MC)等の水溶性高分子溶液を電子線で照射することによって形成され、架橋剤は使用されないためである。しかしながら、HPC 及び MC 溶液を電子線で照射することによって形成されたハイドロゲルは現在創傷被覆材として利用されているが、セルロース誘導体の 1 つであるヒドロキシプロピルメチルセルロース(HPMC)から形成されたハイドロゲルはまだ報告されていない。ハイドロゲルが薬物キャリアとして使用される場合、ハイドロゲル中に薬物溶液を長時間浸漬することによって薬物をハイドロゲルに導入する方法がある。

本研究においては、水溶性薬物としてトラマドール塩酸塩(TRA)に焦点を当てた。TRA はいくつかの癌のための鎮痛剤として、また、手術後の鎮痛剤として使用されている。セロトニン及びノルアドレナリンの再摂取を阻害することにより、 $\mu$ -オピオイド受容体に作用し、また、水に溶解しやすい性質を有する。この研究において我々はまず、電子線架橋によって水溶性高分子 HPMC からハイドロゲルを作製し、その物理特性を評価した。次に、水溶性薬物 TRA をモデル薬物として用いて、経皮吸収タイプの製剤における電子線架橋によって作製した HPMC ハイドロゲルの適用可能性について検討した。

水溶性ポリマーである水性 HPMC の電子線照射により、濃度(10 又は 20%)の両方で、また、電子線量(10、30 又は 50 kGy)の全てで、ハイドロゲルが形成された。さらに、電子線によって形成されたハイドロゲルは、電子線照射線量に応じてそれぞれ異なる物理特性を呈した。水溶性薬剤である TRA については、ハイドロゲルからのその放出及び皮膚浸透は照射線量によって異なっていた。したがって、水溶性薬剤 TRA の放出量は照射線量を変化させることにより調節可能であった。

#### v) カザフスタン(JCS 原子力技術パーク パヴェル・クリフツォフ氏)

カザフstanは、淡水不足の地域における農業のため、超吸水材(SWA)の使用が重要であると考えている。したがって、JCS 原子力技術パーク(PNT)は、2014 年以来研究を行っており、さらに、ポリアクリル酸カリウムからの SWA のパイロット生産を確立している。PNT は、150 kg の量の SWA のパイロットバッチを生産し、それをフィールド調査のために Krasnovodopadskaya 実験ステーション及び営林 Semey Ormany に移送した。次のような結果が得られた。対照群サンプルと比較して、SWA 25kg/ha を使用後、ヒヨコマメの収量が 180% 増加し、SWA 50 kg/ha を使用すると 196%増加した。2 種類の一年生マツ実生苗の生存率は 2 倍に上がった。

PNT は、SWA 中のカルボキシメチルセルロース(CMC)を増大させるための研究を実施している。電子加速器を使用した SWA 生成法の特許を取得し、BetaSorb という商標を登録し、年に 200 t の生産能力を有する SWA 生産用機器を購入し、設置した。生産ラインは 2019 年に立ち上げ予定である。

キノコ生産用の基質の製造における SWA の使用に関する研究も進行中である。SWA は基質による水分損失を低減することができ、生産性向上につながる。CMC からの SWA を使用する場合、SWA はまた、真菌胞子の保持体としてだけでなく、培地にもなる。

vi) マレーシア(マレーシア原子力庁 マズナ・ビンティ・マフムド氏)

マレーシア原子力庁は、マレーシアにおける放射線処理技術により生産される製品の研究開発及び商業化(R&D&C)における主導的政府機関である。放射線技術の適用は、化学的及び物理的技術に加えてポリマーの特性と機能性を強化するために、バイオポリマー及び合成ポリマー改質における確立されたツールの 1 つとなっている。現在、マレーシア原子力庁は、カイラン(Chinese kale)(ポット試験スケール)へのオリゴキトサン/SWA 及びオリゴカラギーナン/SWA 施用及びパパイヤとトウモロコシ(フィールド試験スケール)へのオリゴキトサン-液体肥料(M99)施用に関わる相乗作用研究に取り組んでいる。研究結果は、複合処理により、発芽率、生長率及び収量の質にプラスの影響が得られたことを示している。マレーシア原子力庁はまた、PGP としてのオリゴキトサンの商業化に向けた R&D&C 協力を通して、現地企業と協働している。マレーシア原子力庁は、家畜飼料用サプリメントとしてオリゴキトサンを導入するための措置をとった。現在のところ魚飼料に焦点が当てられており、この目的での要件を満たすために、5000 Da 分子重量のオリゴキトサン生産が現在まだ進行中である。マレーシア原子力庁は、この魚飼料プロジェクトを成功させるために、漁業研究所(Fishery Research Institute)との協働のイニシアチブをとっている。さらに、マレーシア原子力庁は、薬物キャリア及び 3D 細胞培養マトリックスとしての利用に向けたハイドロゲルの開発に関する研究を継続している。生合成ポリマーからなるハイドロゲルは、キトサン-PEG-PVP と PVP-カラギーナンハイドロゲルの放射線架橋のハイブリッドシステムが、生体適合性があり、細胞の増殖と成長に適しているということを示している。

vii) モンゴル(モンゴル国立大学 チンゾリグ・ラドナーバザール氏)

モンゴルの鉱業における問題点には、不十分な土地修復対策と、環境問題への配慮不足が含まれる。2011年に使用された採掘場は20401.3 haであり、修復された土地は、第1段階において4630.3 ha、生物学的に修復される第2段階が4587.6 haであった。全体的統計では、適切に修復されたのは22.4%にすぎず、何十もの放棄された採掘場があることが示されている。

この研究の目的は、金採掘地における物理的劣化土壌での、いくつかの種の植物(アルファルファ(*Medicago varia*)、シベリアハネガヤ(*Stipa sibirica*)、ムラサキモメンズル(*Astragalus adsurgens*)、アリウム・モンゴリクム(*Allium mongolicum*)等)と混合培養系(mixed bacterial culture)の相乗効果を調べることであった。研究結果に基づくと、細菌による堆肥化は効果的であり、植物の生育、生存可能性は露出土壌よりも高かったとすることができる。

viii) フィリピン(フィリピン原子力研究所 チャリトー・アラニラ氏)

カラギーナン PGP は最近、Vitalgro 及び Aqua Oro という商標名で、フィリピン科学技術省(DOST)-PNRI のライセンスを得た 2 社の企業(MTPSI 及び HTLTCI)によってフィリピン国内の様々な場所で発売された。両社とも拡張を計画しており、自前の施設を建設する計画である。当面、両社は、製品のサンプリングとディーラーのためのインベントリに関する初期要件のために PNRI の電子線施設を使用している。MTPSI 及び HTLTCI との DOST-PNRI のライセンス契約は 2018 年に署名され、それぞれ、150 万ペソ(28,000 米ドル)の払戻不能技術移転



料を支払った。FNCA ガイドラインに基づいて、キャッサバ澱粉とアクリル酸(AAc)ベースの超吸水材(SWA)が合成された。統計的設計ソフトウェアを使用した合成最適化により、構成比率、AAc の中和反応(DN)及び照射線量という点での最適パラメーターが生成され、これらのパラメーターは実験によって検証された。砂壤土-粘土-沃土の水保持効率に基づく、20% AAc(30%DN)、7.5%澱粉、放射線線量 20 kGy の SWA の効率が最も高かった。カルボキシメチルセルロース及び $\kappa$ -カラギーナン/ポリエチレンオキシドベースの放射線架橋ハイドロゲルは、創傷の出血を抑えるための止血剤及び被覆材が試作された。これらの止血剤は緊急時対応を改善し、戦場、災害、家庭内事故での負傷者や手術中の生存可能性を増大させるために使用することができる。どちらの止血剤も細胞毒性や急性全身毒性、刺激性がなく、皮膚感作性は低い。

ix) タイ(タイ原子力技術研究所 フィリヤトーン・スワンマラ氏)

過去 10 年間にわたり、タイは平和目的での放射線処理技術の適用を可能にする施設に投資している。放射線処理は産業、環境及び農業を含む様々な分野で利用されている。施設はガンマ線及び電子線放射線の装置を有する。

農業においては、地方の果樹園でのミカンコミバエ(oriental fruit fly)個体数のコントロールのために放射線誘発不妊虫放飼(SIT)が利用されている。標的地域において 80~90%のミカンコミバエ個体数の低減が達成された。TINT は、植物の微生物学的品質へのガンマ線と電子線の影響を調べ、また、機能的コンポーネントを特性評価するための研究、抗酸化作用及びその他の関連する機能的アッセイを実施した。ガンマ線及び電子線処理は微生物汚染を低減又は除去することができる。食品の品質と安全のための照射の使用は、タイが 6 種の果実を米国に輸出する助力として適用されている。ガンマ線照射はまた、農作物及び鑑賞植物における有用な突然変異を誘発するためにも成功裏に使用されている。放射線に誘発される劣化は、キトサンの分子量を低減してオリゴキトサンを作製するためにも使用された。オリゴキトサンによるトウガラシ植物体の処理は、トウガラシの生長と生産性へのプラスの効果を明確に示していた。

環境に対しては、染料吸着剤及び金属吸着剤を調製するために、環境用途での放射線障害性グラフトリングが使用された。

産業においては、抽出プロセス中の活性成分の収量を増大させるための照射処理能力の開発を通して化粧品が開発されている。さらにポリマー材料、特に、澱粉、セルロース、キチン及びキトサン等の天然ポリマーは、そのユニークな特性(特に、生分解性及び生体適合性)により、様々な用途のための高い潜在性をもつ天然ポリマーである。放射線処理キャッサバ澱粉及びサトウキビバガス由来の超吸水材(SWA)は農業において使用されている。SWA は、必要に応じて水蒸気を土壌及び植物に放出するローカルリザーバーとして作用し、また、水分バランスを維持する。これはタイ国内の乾燥地域における水不足を解消するために応用されている。電子線照射は、宝石用原石の色を増強して、その外観と付加価値の向上のために使用されている。

x) ベトナム(ベトナム原子力研究所 グエン・ゴック・ドゥイ氏)

生体適合性天然高分子由来のハイドロゲル製培養用足場は、組織工学における適用のために研究され、開発されている。適切なハイドロゲル製培養用足場を作製するために、高分

子化合物及びハイドロゲル作製方法の選択は常に多くの研究の対象であった。10/0、9/1、8/2、及び 7/3 の異なる重量割合でのゼラチン/カルボキシメチル (CM)-キトサン混合物由来のハイドロゲルが、ガンマ線照射-架橋によって作製された。照射後、これらのハイドロゲルは、重量測定によって、ゲル分率と平衡水膨潤が決定され、多孔質構造を決定するためにフリーズドライ後、培養用足場の走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像が撮られた。結果として、ゲル分率が 72~84%、10 時間の浸漬後の平衡水膨潤が 4.9~12 g/g、孔サイズが 100~350  $\mu\text{m}$  のハイドロゲルを作製するためには、30~35 kGy の線量が必要であった。調査した全てのサンプルの中で、9/1 (13.5 g/1.5 g/水 100 ml) の割合のハイドロゲルゼラチン/CM-キトサンが、最も高いゲル成分 (~84%)、吸水度 (5.8 g/g) 及び孔サイズ 120~250  $\mu\text{m}$  を達成し、間葉系幹細胞培養用足場としての使用のための要求事項を満たしていた。

### 3) ワークショップのまとめ

#### i) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用

##### 成果

インドネシア及びベトナムでは、キトサンを放射線分解して作製したオリゴキトサンを動物飼料に応用した。タイ及びマレーシアも、動物飼料としてのオリゴキトサンの作製に取り掛かることが決定した。

- 動物飼料としてのオリゴキトサンの作製方法が確立され、フィールド試験が終了した。(ベトナム: 魚及びエビ、インドネシア: 魚及び雌鶏)
- 魚とエビの免疫増強剤としてのオリゴキトサンの販売が承認された。エビの免疫系増強のため、オリゴキトサンとセレン粒子の組み合わせによる試験が実施された。(ベトナム)
- 試験を行い、適用の最適条件を探る。(インドネシア)

##### 基礎面でのギャップ

- a) 動物の成長促進及び免疫増強におけるオリゴキトサンのメカニズムが明確に理解されていない。

##### 応用面でのギャップ

- b) パブリックアクセプタンスの欠如。
- c) 動物飼料としての登録が困難。
- d) オリゴキトサンと流通している市販品の比較が未だ実施されていない。

##### 実行計画

- a) 動物飼料としてのオリゴキトサンの効果を調査する必要がある。
- b) セミナー/メディア/展示等を実施することで、パブリック・アクセプタンスの向上を図る。
- c) 別のカテゴリーでの登録を検討する。
- d) 生産性向上面における市販品に対する競争力を向上させる。

#### ii) ハイドロゲルの医療応用

##### 成果

- 三次元細胞培養基材としてのハイドロゲルの作製。(マレーシア及びベトナム)
- API (トラマドール塩酸塩) を仕込んだハイドロゲルを使用した、末梢神経障害治療の導入。(日本)

- ポリビニルアルコールと  $\kappa$  カラギーナンのブレンドにガンマ線を照射して架橋したハイドロゲル創傷被覆材の品質寿命に関する研究及び、キトサンを利用したポリビニルアルコールへの抗菌活性の取り込みの実施。(バングラデシュ)
- 止血剤としてのハイドロゲルの応用。(フィリピン)

#### 基礎面でのギャップ

- a) 薬物分子のハイドロゲル中への拡散挙動に関する研究がなされていない。

#### 応用面でのギャップ

- b) ハイドロゲルの医療応用がもたらす利益への理解不足。
- c) 製品に対するパブリックアクセプタンスの欠如。

#### 実行計画

- a) 製薬会社との共同研究。
- b) ハイドロゲル製造に放射線技術を使用することの利点を、エンドユーザーに周知する。
- c) セミナー/メディア/展示等を実施することで、パブリック・アクセプタンスの向上を図る。

### **iii) 環境修復**

#### 成果

- バイオ肥料を利用した採掘現場のファイトレメディエーション。(モンゴル)
- クロム(Cr)、カドミウム(Cd)及びウラン(U)を吸着する繊維系吸着剤が機械系強度と長寿命を達成。(中国)
- 電子線を利用した染色排水の脱色が研究室規模で実施された。(ベトナム)
- インドネシアでは、生物学的に修復された水田においてイネの収量が向上した。(20~30%)
- 電子線を利用した繊維排水の処理工場が現在 1 基稼働中である。経済分析結果は好ましく、競争力も高かった。(中国)

#### 基礎面でのギャップ

- a) 実験データの再現性が低い。

#### 応用面でのギャップ

- b) 吸着材のコスト効率が低い。
- c) 従来の方法との競争。
- d) 繊維工場の立地が集中していないため、染色排水の回収が困難。

#### 実行計画

- a) 実験変動を取り除き、一貫性を維持する。
- b) 放射線照射、グラフト重合、廃モノマーの処理にかかわるコスト削減のため、安価なプロセスを開発する。(中国)
- c) 放射線を利用した方法の優位性の明確化。(モンゴル)
- d) 照射と生物処理を組み合わせた繊維染色排水の処理をベンチスケールで実施する。(ベトナム)

#### iv) 植物生長促進剤(PGP)、超吸水材(SWA)及びバイオ肥料の相乗効果

##### 成果

- 日本では、ダイズ黒根腐病の発生を軽減させ、ダイズの生長を促進させる相乗効果が見られた。しかしほぼ全ての参加国は、実施された研究で穀物の収量(コメ(バングラデシュ)、白コショウ(インドネシア)、トウモロコシ(フィリピン、マレーシア)及びアマトウガラシとトマト(モンゴル))に対する相乗効果よりも複合効果が顕著に見られたことに合意した。

##### 基礎面でのギャップ

- a) PGPとバイオ肥料の明確な相乗効果は報告されていない。

##### 応用面でのギャップ

- b) 農家やエンドユーザーが、放射線加工技術を容認していない。

##### 実行計画

- a) PGP及びバイオ肥料における病害抑制や植物生長促進といった異なる機能を組み合わせて相乗効果を調査する。
- b) 農家に対し、放射線加工技術の利用とその利益について教育する。

#### v) 植物生長促進剤(PGP)及び超吸水材(SWA) (プロセス開発を含む)

##### PGPの成果

- バングラデシュ、ベトナム：
  - ・ フィールド試験。(イチゴ、トウガラシ、トマト)
  - ・ 実用化を実施する組織であるバングラデシュ原子力農業研究所(BINA)及びバングラデシュ農業研究所(BARI)との広範な協力。
  - ・ 農業大学との広範な協力。
- インドネシアーパイロット生産、フィールド試験。(コショウ、キク)
- マレーシアー生産が確立し、実用化に向かっている。新たな PGP(オリゴカラギーナン)の開発に向けた研究を開始。
- フィリピンー商業生産:2つの商業製品が市場に進出。
- タイー準商業生産。
- モンゴルー研究活動。

##### SWAの成果

###### <フィールド試験>

- フィリピンー無し。
- タイーゴムノキ、ベビーコーン。
- カザフスタンーヒヨコマメ、オウシュウアカマツ、コムギ。

###### <製造状況>

- フィリピンー小容量。
- タイー商業生産の準備が完了。
- カザフスタンー商業生産の準備が完了。

## 基礎面でのギャップ

### <PGP>

- a) 植物生長促進剤及びエリシターの基本的なメカニズムが不明確。
- b) カラギーナン (PGP) の構造の識別—最初の実験が LC/MS 技術を用いて実施された。その結果、フラグメントが  $\kappa$ -カラギーナンの二糖単位と類似していることは分かったが、二糖の構造の変化を解明することはできなかった。さらなる研究を実施する予定。

### <SWA>

- c) 生分解性向上のための最適条件が不明確。

## 応用面でのギャップ

### <PGP>

- d) いくつかの国で製品が未登録。
- e) いくつかの国でフィールド試験での適用が未実施。

### <SWA>

- f) 高い乾燥費用による製造費用の高額化。
- g) 見込まれるエンドユーザーらが、従来の慣例の変更及び科学技術の受容に後ろ向きである。

## 実行計画

- a) 植物に対する PGP の作用のメカニズムを特定する。
- b) SWA の生分解性を最適化させるための新たな生分解性原材料を選定する。
- c) 別のカテゴリーで登録することを検討する。
- d) エンドユーザーと共同で PGP のフィールド試験を実施することが推奨される。
- e) SWA の乾燥工程を安価に押さえるため、プロセスの開発と適切な機械の導入を行う。
- f) より多くのエンドユーザーが放射線加工技術を容認できるよう、エンドユーザーに対する技術の推進に尽力する。

## vi) ガンマ線照射によるバイオ肥料の微生物育種

### 成果

- ほぼ全ての参加国が多機能微生物(多数の有益な特徴を持つ微生物)を調査しており、以下のとおり各国で異なる機能を持った異なる微生物の研究を行っている。

国名	微生物のタイプ	機能
中国	<i>Trichoderma</i> sp.	植物生長促進及び病害抑制
インドネシア	<i>Staphylococcus pastoori</i> <i>Aspergillus costaricaensis</i> (共に病原菌ではない)	リン及びカリウムの溶解能力を有する(バイオ肥料)
マレーシア	<i>Actinobacter</i> sp	窒素固定及びリンの溶解能力を有する(バイオ肥料)
タイ	<i>Azospirillum</i> sp., <i>Azotobacter</i> sp., <i>Beijerinckia</i> sp.,	窒素固定及び IAA (インドール-3-酢酸:細胞分裂と細胞伸長効果)生産性を有する(バイオ肥料)

*Burkholderia* sp. and  
*Gluconacetobacter* sp.

ベトナム

*Bacillus subtilis*

プロテアーゼを多く分泌する(家畜飼料とバイオ肥料)

---

基礎面でのギャップ

- a) ガンマ線照射後における、望ましい突然変異体のスクリーニングと選択が非効率である。

応用面でのギャップ

- b) 国によって要件が異なる。(微生物の種類、機能、政策、法律など)

実行計画

- a) 高度なロボット技術を用いた効率的なスクリーニングと選択方法を開発する。
- b) 各国の要件を満たす多機能バイオ肥料を開発する。

**vii) ガンマ線照射によるバイオ肥料のキャリア滅菌**

成果

- ガンマ線を照射することで保管期間が延びたキャリアが、既にフィリピンで実用化されている。ガンマ線で照射した場合、接種微生物の生存期間は長くなる。
- マレーシアは「Bioliquifert」、「GoGrow BioNPK Biofertilizer」及び「Biofertilizer M99」の3種類の液体バイオ肥料を実用化した。液体バイオ肥料はモンゴルで実用化された。

基礎面でのギャップ

- a) キャリア滅菌に際して、ガンマ線照射の優先度は高くない。

応用面でのギャップ

- b) 放射線技術、特にガンマ線施設に関する公衆の認知不足。

次フェーズに向けての実行計画

- a) 蒸気滅菌に対する放射線滅菌の優位性を証明するためのコストを見積もる。
- b) エンドユーザーに放射線技術の情報を普及させる。

### 2.1.3 気候変動科学プロジェクト

#### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日: 2019 年 10 月 7 日(月)～10 月 10 日(木)
- ii) 場所: 日本、京都市及び敦賀市
- iii) 主催: 文部科学省(MEXT)、オーストラリア原子力科学技術機構(ANSTO)
- iv) 共催: 福井県
- v) 参加者: オーストラリア、バングラデシュ、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナムより各 1 名、日本 8 名、合計 17 名(添付資料 2.3.2(p126) 参照)
- vi) 日程: 添付資料 2.3.3(p129) 参照

本ワークショップは、2019 年 10 月 7 日～10 月 10 日の 4 日間、京都市及び敦賀市において開催された。

初日には、FNCA 日本コーディネーターの和田智明氏と日本プロジェクトリーダーの永井晴康氏、オーストラリア原子力科学技術機構(ANSTO)環境研究リーダーのヘンク・ヘイニス氏により、開会と歓迎の挨拶が行われた。

各国参加者は自己紹介を行い、それに続いて気候アーカイブ(湖沼・河川堆積物、サンゴ・貝、洞窟生成物、樹木の年輪)及び土壌炭素の分析・研究の進捗状況について、報告を行った。

2 日目には、各国参加者による発表とともに、東京大学の松崎浩之氏より、加速器質量分析装置(AMS)による自然アーカイブにおける放射性核種の分析に関する発表が行われた。

3 日目、各国による国別報告の後、それぞれの国における全体的な進捗状況、機器への依存度、分析及び施設に関する議論が行われた。今後の進展のために必要とされる支援の種類とそのレベルについて、取りまとめが行われた。計画、支援レベル及び情報共有について合意が形成され、新しい環境変化、食品の産地調査・食品安全に関するプロジェクトの可能性についても議論が行われた。各国は現在の国内活動の概要又はこの話題に関する関心を発表することを求められた。この計画は 2019 年中に更に煮詰め、2020 年初頭のコーディネーター会合に提示される。

4 日目、ワークショップ参加者は、若狭湾エネルギー研究センターで開催された気候変動科学に関する公開セミナーに出席し、オーストラリア、インドネシア、日本、フィリピンからの参加者が気候変動に関する研究において原子力技術が活発に利用されている現状について紹介した。その後、テクニカルビジットが実施され、ワークショップ参加者は福井県年縞博物館を訪れた。

#### 2) 各国発表概要

- i) オーストラリア(オーストラリア原子力科学技術機構 ヘンク・ヘイニス氏)

オーストラリアは国内及びインドネシア等の海外の湖沼から堆積物を採取し、東南アジアで発生するモンスーン等がエルニーニョ南方振動(ENSO)、インド洋ダイポール現象(IOD)、太平洋十年規模振動(PDO)等の現象とどのように関わっているのか、また過去 1 万年の間にモンスーンの状況はどのように変化しているのかについて研究を行っている。これらの解明のため

めに利用されるのは加速器質量分析装置(AMS)による放射性炭素年代測定、安定同位体分析、マイクロ蛍光 X 線分析スキャニング(ITRAX)等である。

ii) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 モハマド・アミルル・イスラム氏)

世界最大のマングローブ林が群生するシュンドルボン地域において、生態系が危機に晒されている。バングラデシュではこの地域の環境影響評価を実施するため、3つの地点から堆積物を採取し、中性子放射化分析、原子吸光分光法、蛍光 X 線分析、ガンマ線分光計による鉛-210( $^{210}\text{Pb}$ )放射年代分析等を行っている。

iii) インドネシア(インドネシア原子力庁 アリ・アルマン・ルビス氏)

マングローブは  $\text{CO}_2$  吸収と光合成に優れているが、インドネシアには世界最大のマングローブ群生地があるため、炭素削減への貢献が大いに期待されている。インドネシアはマングローブ群生地の土壌に貯留するブルーカーボン(海藻等の海の生物によって吸収・固定された炭素)を原子力・同位体技術を用いて評価し、沿岸生態系における気候変動の影響を調査している。海洋・漁業省及びボゴール農業大学と協力の下、西バリ国立公園とロンボク西ヌサテンガラ地域で堆積物コアを採取し、アルファ線分光計による  $^{210}\text{Pb}$  放射年代測定を実施している。

iv) 日本(日本原子力研究開発機構 永井晴康氏)

陸域生態系における土壌有機炭素の循環は、大気中の  $\text{CO}_2$  レベルと地球温暖化と相關関係を持つ。将来起こりうる気候変動について予測するため、日本では土壌有機炭素の安定性と分解性を定量化に向け放射性炭素の分析を行い、また日本各地の土壌で炭素の貯蔵量や平均滞留時間を調査している。炭素貯蔵量と土壌の分解性は、試料の採取地によって異なることが明らかになっている。また調査により、降雨の減少や増加等の水循環変動が地球温暖化に影響を与えている可能性があること、 $\text{CO}_2$  は古い土壌有機炭素から排出されている可能性があることが示唆された。

v) カザフスタン(カザフスタン国立原子力研究センター オクサナ・リャホバ氏)

カザフスタンでは気候変動の影響により干ばつ、熱波、洪水、地滑り等が発生する恐れがあり、エネルギー省の中に新設されたグリーンエコノミー・気候変動部門や緊急事態省とともに、カザフスタン国立原子力センター(NNC)も気候変動に関する研究を実施している。現在取り組んでいるのは、様々な地域の土壌炭素の温暖化に対する反応の調査と、将来的な気候変動の予測のための降雨中の安定同位体比率の定量化である。

vi) マレーシア(マレーシアプトラ大学 ファティマ・MD・ユソフ氏)

マレーシアで二番目に大きい湖であるパハン州のチニ湖は、極端な気候条件により土壌侵食や森林消失が発生しており、さらに近隣で営まれる農業で化学肥料や農薬が使用されることやボーキサイトの採掘により脅威に晒されている。湖の生態系に対する気候変動や人為的活動の影響を調査するため、2019年6月から ITRAX や蛍光 X 線分析(XRF)を用いて堆積物の分析を行っており、2020年12月までに終了させる予定である。さらにマラッカ海峡に面した4つの地点で海水に植生するマングローブ林の沿岸堆積物を採取し、炭素-13( $^{13}\text{C}$ )や窒素-14( $^{14}\text{N}$ )の同位体質量分析により、塩分濃度、濁度、水素指数の変化を調査している。



vii) モンゴル(モンゴル環境・観光省サランツォーヤ・ガンジュール氏)

モンゴルは中央アジアに位置し、国境を中国・ロシアと接する。モンゴルでも気候変動は深刻になっており、気象観測基地のデータによると 1940 年から 2018 年の間に夏の平均気温は 2.4℃上昇している。極端な気候により干ばつ、豪雪、洪水、暴風、暴雪等が高頻度で発生する恐れがあるため、土壌炭素と樹木の年輪の分析による古気候の再現と、イオンビーム分析によるエアロゾル(大気中の汚染物質)の特定を進めている。

viii) フィリピン(フィリピン原子力研究所 エンジェル・T・バウティスタ VII 氏)

サンゴ殻には放射性同位体のプロキシが含まれることから、水面温度等の自然環境や核実験等の人為的活動を再現することができる。過去の水面温度の調査においては高解像度 3 次元 X 線コンピュータトモグラフィを用いて、サンゴ核の濃淡値と海面温度の記録に相関関係があることを見出した。また人為的核関連活動の研究においては、加速器質量分析及び誘導結合プラズマ質量分析により、核実験や核燃料再処理が行われた時、また原子力事故発生時にヨウ素-129 ( $^{129}\text{I}$ ) とヨウ素-127 ( $^{127}\text{I}$ ) の値が上昇していることが示された。

ix) タイ(タイ原子力技術研究所 サシファン・カウエラット氏)

タイ原子力技術研究所(TINT)では、古代の巨大カキの殻を採取し、カキの一年ごとの成長の度合いを分析し、古気候の理解に取り組んでいる。手法としては、カルシウム(Ca)/ストロンチウム(Sr)比と Ca/マグネシウム(Mg)比に焦点をあて、カキの殻の表面の X 線及びガンマ線撮影や携帯型 X 線蛍光分析(HXRF)、安定同位体分析、同位体質量分析を行っている。また ITRAX、HXRF 及び従来の放射性炭素年代測定を用いて国内の湖沼堆積物の蓄積の動態を分析し、沿岸の汚染と水位の変化について調査している。さらに 1900 年以降洪水が多発していることから、同位体質量分析(IRMS)等により降雨と地下水の安定同位体分析を行い、国の水資源管理計画に貢献している。

x) ベトナム(ベトナム原子力研究所 ブイ・ダック・ズン氏)

近年ベトナムでは気候変動と人為的活動の影響による沿岸堆積・浸食が問題になっている。沿岸堆積・浸食の過去の状況と将来の予測、また沿岸・海洋環境に影響を及ぼす汚染の傾向について調査を行うために、トンキン湾北西部のハロン湾における 6 つの地点で堆積物コアを採取し、アルファ線及びガンマ線分光計による  $^{210}\text{Pb}$ 、ラジウム-226 ( $^{226}\text{Ra}$ )、セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )、重金属、窒素(N)、リン(P)の分析を行っている。その結果、近年堆積率が 0.43 ~ 0.71 cm a<sup>-1</sup> 上昇しており、これは 1990 年代に行われた採炭の影響であると考えられる。また N 及び P の有機・栄養源が高濃度であることが認められ、これは農業活動の活発化によるものと考えられる。

### 3) ワークショップのまとめ

- i) 土壌及び環境アーカイブの試料採取に関するガイドラインの作成に向けて、日本とオーストラリアは 2019 年末を目途にドラフトを作成し、それを基に参加国間で検討を進める。
- ii) 日本は放射性炭素、安定同位体及び炭素分析、オーストラリアは微化石スライド調整の分野で、試料の前処理技術を提供する。
- iii) 全ての参加国は、自由なアクセスが可能なソフトウェア、衛星画像及び画像解析ソフトウェアなどのリストを、2020 年初頭には共有できるように、2019 年末までに情報を提出する。

- iv) フィリピンで開催される予定である次回ワークショップではデータの解釈に焦点を当てる。適切な参加者によって、データ収集からデータ解釈、最終結論に至る科学的手法を、段階的に実演することが求められる。

## 2.2 放射線利用開発分野(健康利用)

### 2.2.1 放射線治療プロジェクト

#### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日:2019年10月28日(月)~10月31日(木)
- ii) 場所:中国、蘇州
- iii) 主催:文部科学省(MEXT)、中国国家原子能機構(CAEA)、蘇州大学、蘇州大学附属第一医院
- iv) 参加者:中国、インドネシア、韓国、マレーシア、モンゴル、タイ、ベトナムより各2名、バングラデシュより3名、フィリピンより4名、日本13名、合計34名(添付資料2.4.2(p134)参照)
- v) 日程:添付資料2.4.3(p142)参照

本ワークショップは、2019年10月28日~10月31日の4日間、中国の蘇州において開催された。

初日の開会セッションでは、まず始めに蘇州大学副学長のチェン・ウィチャン氏が歓迎挨拶を行った。次に日本コーディネーターの和田智明氏が開会の挨拶を行い、文部科学省(MEXT)の田中史代氏が自身の挨拶とともに、文部科学省が行っているアジア協力プログラムを紹介した。続いて、日本のプロジェクトリーダー(PL)である埼玉医科大学の加藤真吾氏が挨拶した。最後に、復旦大学附属上海がん病院のチャン・ジェン氏及び上海陽子線・重粒子線がんセンターのルー・ジェイダ氏それぞれより、「上海がんセンターにおける経験-局所進行直腸がんに対するネオアジュバント化学療法」及び「上海陽子線・重粒子センターにおける経験-がん治療における陽子・重粒子線を用いた治療」と題した特別講演が行われた。

その後のセッションでは、局所進行子宮頸がんに対する3D画像誘導小線源治療の前向き観察研究(CERVIX-V)<sup>3</sup>について各国より発表があり、質疑応答が行われた。また、続く放射線治療における品質保証/品質管理(QA/QC)のセッションでは、中国における3次元画像誘導小線源治療(3D-IGBT)の現状について発表が行われた他、3D-IGBTでの線量監査方法及び各国の治療施設を対象に実施されている3D-IGBTの線量監査の結果が報告された。また、上咽頭がんに対する化学放射線療法の第Ⅱ相試験(NPC-III)について各国より発表があり、質疑応答が行われた。

2日目には、乳がんに対する寡分割放射線療法の第Ⅱ相試験(BREAST-I)について各国より発表と議論が行われた。次に、プロジェクトの過去3年の活動について振り返り、今後の活動計画についても議論され、それぞれの内容がレポートにまとめられた。また、ワークショップの総括として議事録案が作成された。

3日目には、ワークショップの一環として、参加者は蘇州大学附属第一医院を訪問し、その後、同院にて公開レクチャーが開催された。

最終日には、蘇州から上海へ移動し、上海陽子線・重粒子線がんセンター及び復旦大学附属上海がん病院を訪問した。

<sup>3</sup> 前向き観察研究:最初に健康な人の生活習慣等を調査し、この集団を「前向き」に＝未来に向かって追跡調査を行い、後から発生する疾病を確認する研究手法。最初に調査した要因とその後の疾病の発生との因果関係を分析する。

## 2) 公開レクチャー

3 日目に、公開レクチャーを開催した。医学生、レジデント、医師、病院関係者、またワークショップ参加者を含む聴衆が参加した。

開催場所である蘇州大学付属第一病院副院長であるチェン・ガン氏が開会の挨拶を述べた。最初の講演として、和田氏が FNCA の概要とプロジェクトの紹介を行った。次に、韓国原子力医科学院(KIRAMS)のジャン・ウォニル氏が、肺がんに対する体幹部定位照射(SBRT)について、発表した。続いて、蘇州大学付属第一病院のゾウ・ジュイン氏が中国におけるがん疫学と放射線療法の概要と現況について、また、群馬大学の大野達也氏が、粒子線治療について発表した。最後に、3D-IGBT における特別講演が行われ、フィリピンのレイ・H・デ・ロス・レイエス氏の司会のもと、自治医科大学の若月優氏(2019 年 10 月時点)が 3D-IGBT の概要について紹介し、量子科学技術研究開発機構(QST)の小此木範之氏が子宮頸がんの症例とともに 3D-IGBT のトレーニングキットを利用した講習を行った。

## 3) ワークショップのまとめ

### i) 局所進行子宮頸がんに対する 3D 画像誘導小線源治療の前向き観察研究(CERVIX-V)

CERVIX-IV の臨床試験終了見込みに伴う新たな子宮頸がんに対するプロトコールとして、「局所進行子宮頸がんに対する 3 次元画像誘導小線源治療(3D-IGBT)」の前向き観察研究が実施されている。

画像誘導小線源治療(IGBT)は、腫瘍がある腔内での照射をより正確かつ安全に行える新しい治療法であり、管(アプリータ)を腔内に入れた状態で CT や MRI で撮影することにより、アプリータと腫瘍、周囲臓器との位置関係を把握することができる。その CT や MRI を専用の治療計画装置に取り込むことで、周囲臓器への照射線量を抑えつつ腫瘍に高線量を集中投与するため、患者の副作用を減らすメリットがある。

2016 年度のワークショップでプロトコールの原案が紹介され、2017 年 5 月に量子科学技術研究開発機構(QST)放射線医学総合研究所(NIRS)の治験審査委員会(IRB)によって承認された。各国治療施設においても順次プロトコールが承認され、2018 年度より、患者の登録が始まった。

日本より、CERVIX-V の臨床データのまとめとして、本ワークショップ時点での患者登録数が計 38 人であることが報告され、CERVIX-V の臨床データが各国より発表された。(バングラデシュ 0 人、中国 6 人、インドネシア 7 人、日本 5 人、カザフスタン 4 人、韓国 0 人、マレーシア 6 人、モンゴル 2 人、フィリピン 8 人、タイ 0 人、ベトナム 0 人、計 38 人)。

治療開始から 6 ヶ月の時点で、治療効果判定のための追跡調査が行われることが確認された。また、追跡調査の手法とタイミングについて議論され、プロトコールに変更を加えることとなった。

### ii) 3D-IGBT における品質保証/品質管理(QA/QC)

本活動では、多国間での共同臨床研究と各国における放射線治療を適切に行うために、各国の各施設が信頼できる線量測定法を整備することを目指している。これまでは、子宮頸がん

に対する外部照射治療時のリニアック線量測定や線源の放射能校正等の QA/QC を対象として、FNCA 参加国における放射線治療施設の調査を行ってきた。

3D-IGBT を取り扱う CERVIX-V の開始に伴い、本活動においても各国の治療施設における 3D-IGBT の QA/QC に焦点を当て、2019 年より線量監査が実施されている。

中国より、国内における 3D-IGBT の現状についての発表があり、そのインフラ面、QA/QC の状況が発表された。また、子宮頸がんに対する小線源治療と強度変調放射線治療 (IMRT) の同時併用等、放射線利用に関連した研究開発についても紹介された。

日本より、3D-IGBT の線量監査に用いられるファントム治具の説明及びそれを用いた線量監査法について説明された。また、各国の治療施設を対象に開始された線量監査の測定について報告があった。2019 年 2 月に埼玉医科大学国際医療センターにおいて、3 月に韓国の KIRAMS において実施され、2 施設とも、A 点<sup>4</sup>膀胱・直腸線量、アプリケーションオフセット値について、また線源強度について許容範囲内の結果が得られたことが報告された。

### iii) 上咽頭がんに対する同時併用化学放射線療法の第 II 相試験 (NPC-III)

NPC-III は、頸部リンパ節に転移のある上咽頭がん症例に対し導入化学療法を行った後、放射線療法と化学療法を同時併用するプロトコルである。化学療法を同時併用治療の前に行っている点 (ネオアジュバント化学療法) が NPC-I (同時併用化学放射線療法の後にアジュバント化学療法) との違いである。日本より、NPC-III の臨床データのまとめとして、本ワークショップ時点で本プロトコルへ登録された患者 120 人分の臨床データが分析されたことが報告された。また、NPC-III の本ワークショップ時点での臨床データが各国より発表された (患者数は、バングラデシュ 1 人、中国 9 人、インドネシア 12 人、日本 0 人、カザフスタン 0 人、韓国 0 人、マレーシア 31 人、フィリピン 7 人、ベトナム 60 人、計 120 人)。

目標登録数 120 を達成し、NPC-III の登録は完了している。年齢の中央値は 46 歳で、放射線療法の全治療期間の中央値は 53 日 (範囲: 44~232 日) であった。患者の 22% が 14 日を超える放射線治療を中断し、その主な原因は、機械の故障、計画の変更及び毒性であった。患者全員が 2~3 サイクルの導入化学療法を受け、その遵守率は 100% であったが、4 サイクル以上の同時併用化学療法の遵守率は 74% にとどまった。導入化学療法段階では、患者の 3% に白血球減少症、10% に好中球減少症、2% に貧血といったグレード<sup>5</sup> 3 ないしは 4 の血液毒性が生じ、患者の 5% に悪心／嘔吐、1% に疲労感といった非血液毒性が生じた。同時併用段階で、患者の 14% に白血球減少症、9% に好中球減少症、4% に貧血、2% に血小板減少症といったグレード 3 ないしは 4 の血液毒性が生じた。また、患者の 11% に皮膚炎、20% に粘膜炎、9% にドライマウス、7% に悪心／嘔吐、14% に体重の減少、11% に疲労感といった非血液毒性が生じた。グレード 3 の晩期毒性が患者の 10% に生じ、その内容は主に唾液腺と皮下組織の毒性であった。

有効性の結果は、3 年全生存 (OS) 率が 76% (NPC-I では 57%)、局所領域再発率が 25% (NPC-I では 14%)、無遠隔転移生存率 (DMFS) が 83% (NPC-I では 69%)、無増悪生存

<sup>4</sup> A 点: 従来の腔内照射における病巣の線量基準点 (A 点) のこと。

<sup>5</sup> グレード: 有害事象の重症度を意味する。有害事象共通用語規準では、グレードは 1~5 まであり、グレード 3 は重症又は医学的に重大であるが、直ちに生命を脅かすものではないとされている。

(PFS)<sup>6</sup>率が72%(NPC-Iでは63%)であった。本結果はNPC-Iの結果に匹敵し、NPC-IIIでは局所領域制御率がより低く、遠隔転移率がより低く、全生存率がより高いという点で有意差が認められた。

iv) 乳がんに対する寡分割放射線療法の第Ⅱ相試験/術後放射線療法(BREAST-I/PMRT)

BREAST-I/PMRT は、局所進行乳がんに対する乳房切除後の胸壁と鎖骨上窩への領域照射を行う治療法で、1回の照射線量を通常よりやや増加させ総線量を低下させて治療期間を短縮し、治療期間を約3分の2に短縮する。アジア諸国では、多くの患者を限られた放射線治療資源で治療する必要がある、寡分割療法が従来法と同様の効果が得られ有害事象にも差異がなければ、患者にとっても施設にとっても有意義な治療法となり得る。本臨床試験では、乳房切除後の胸壁と鎖骨上窩に対して1回2.7Gyにて16回で計43.2Gyを照射し、その有用性を検討する。

日本よりBREAST-I/PMRTのレビューと臨床データのまとめとして、本ワークショップ時点で本プロトコルへ登録されていた患者数が221人であることが報告された。また、BREAST-I/PMRTの臨床データが各国より発表された。(患者数は、バングラデシュ84人、中国13人、インドネシア0人、日本14人、カザフスタン20人、韓国0人、マレーシア0人、モンゴル26人、フィリピン18人、タイ0人及びベトナム46人、計221人)。

日本より登録症例全体についてのまとめが報告された。

当初、2013年2月の臨床試験開始から4年以内での目標症例数(200)集積を目指していたが、完了せず、2019年に目標を達成した。2018年～2019年にベトナムから新規登録された患者に関して、皮膚の急性有害事象のグレードが高くなっていることが見受けられ、今後の追跡調査の際に再度確認をすることが要望された。

これまで治療成績では、乳房切除術後の寡分割放射線療法は優良で、急性毒性及び晩期毒性も許容可能であるが、最終的な治療成績評価のためには最低5年間の患者の追跡が必要であるとされた。

v) 乳がんに対する寡分割放射線療法の第Ⅱ相試験/温存術後乳房全照射(BREAST-I/BCT)

BREAST-I/BCT は、早期乳がんに対する乳房温存手術後の乳房照射である。BREAST-I/PMRT同様、1回の照射線量を通常よりやや増加させ治療期間を約3分の2に短縮することで総線量を低下させる治療法であり、温存術後の乳房に対して1回2.7Gyにて16回で43.2Gyを照射し、更に高リスク因子を持つ患者では腫瘍床に追加で8.1Gyを照射しその有用性を検討する。

日本よりBREAST-I/BCTのレビューと臨床データのまとめが報告され、本ワークショップ時点で本プロトコルへ登録されていた患者数は229人であり、対象となる乳病巣の数は230(両胸に病巣がある患者が1人いるため、症例数としては230症例)であることが報告された。また、BREAST-I/BCTの臨床データが各国より発表された。(患者数は、バングラデシュ31人、中国6人、インドネシア16人、日本136人、カザフスタン14人、韓国10人、マレーシア0人、モンゴル3人、フィリピン0人、タイ14人、ベトナム0人、計229人)。

<sup>6</sup> 無増悪生存(PFS):治療中(後)に、がんの進行が見られない状態で患者が生存している期間の長さ。

日本より登録症例全体についてのまとめが報告された。

患者の病期の内訳はステージ 0 期が 37 人、ステージ IA 期が 121 人、ステージ IB 期が 3 人、ステージ IIA 期が 49 人、ステージ IIB 期が 20 人であった。(ステージの詳細については下記の表 1 を参考)

皮膚の急性有害事象は、グレード 0 が 8%、グレード 1 が 80%、グレード 2 が 10%、グレード 3 が 2%、皮下組織の急性有害事象は、グレード 0 が 90%、グレード 1 が 10%であった。晩期有害事象については、皮膚ではグレード 0 が 80%、グレード 1 が 20%、皮下組織ではグレード 0 が 90%、グレード 1 が 10%、乳房ではグレード 0 が 92%、グレード 1 が 8%、肺ではグレード 0 が 98%、グレード 1 が 2%であった。よって、本臨床試験ではグレード 2 を超える毒性は認められなかった。追跡調査期間が 3 年を超える患者の乳房の整容性については、"excellent"が 107 例、"good"が 1 例、"poor"が 3 例であった。追跡期間中央値 35 ヶ月の段階で局所領域再発が 1 例、遠隔転移が 3 例、乳がんによる死亡が 2 例、他病死が 2 例見られた。

1 施設においてグレード 3 の皮膚の有害事象が認められたため、治療プロセスと有害事象のグレード評価について要再検討とされた。

今後、論文の原稿提出に先立ち、多少のデータ補正が必要になる見られる。3 年の追跡調査期間における結果を論文にするが、最終結果の確認のためには、最低 5 年間の患者の追跡が必要であり、その間は 6 ヶ月ごとに、またそれ以降は 1 年ごとに患者の追跡調査を行う予定である。

表 1 子宮頸がんのステージ(進行期)分類

0 期	がんの子宮頸部の上皮内にとどまっている状態
IA 期	粘膜の下(基底膜)を超えているが、深さは 5mm 以内、広がり 7mm を超えない。
IB 期	子宮頸部にとどまっているが、浸潤が深くなっている。転移の可能性も出てくる。
IIA 期	子宮頸部を越えて、膣の下 3 分の 1 を超えていない。
IIB 期	子宮を支える子宮傍組織まで広がっているが、骨盤壁には届いていない。
IIIA 期	膣の下 3 分の 1 まで広がるが、骨盤壁には達していない。
IIIB 期	骨盤壁にまで達しており、子宮傍組織まで広がっている。
IVA 期	子宮に隣接した膀胱や直腸にまで広がっている。
IVB 期	骨盤を越えて肺や肝臓等の遠くの臓器への転移が見られる。

#### vi) 3 年評価と将来計画について

2019 年度はプロジェクト活動 3 年フェーズの最終年度にあたることから、本フェーズ(2017 年度～2019 年度)に行った臨床試験等の成果を振り返り、評価を行った。また、2017 年度～2019 年度の次期 3 年フェーズの活動内容について議論が行われ、現行の臨床試験の継続の他に、骨転移に対する緩和的放射線治療、緩和的放射線治療に関する国際原子力機関(IAEA)/原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定(RCA)プロジェクトとの協力、がんの脳転移に関する臨床試験等が提案された。

2020 年度のワークショップは、モンゴルを開催候補国とした。

## 2.3 研究炉利用開発分野

### 2.3.1 研究炉利用プロジェクト

#### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日: 2019 年 9 月 10 日 (火) ~ 9 月 12 日 (木)
- ii) 場所: カザフスタン、クルチャトフ
- iii) 主催: 文部科学省 (MEXT)、カザフスタン国立原子力センター (NNC)、
- iv) 参加者: オーストラリア、バングラデシュ、インドネシア、マレーシア、モンゴル、タイ、ベトナムより各 2 名、カザフスタン 5 名、日本 7 名、合計 26 名 (添付資料 2.5.2 (p155) 参照)
- v) 日程: 添付資料 2.5.3 (p158) 参照

本ワークショップは、2019 年 9 月 10 日 ~ 9 月 12 日の 3 日間、カザフスタンのクルチャトフ市において開催された。

初日前半の全体セッションでは、カザフスタンのコーディネーターであるカザフスタン国立原子力センター (NNC) 総裁のエルラン・バティルベコフ氏及び日本のコーディネーターである和田智明氏より開会の挨拶があり、続いて日本のプロジェクトリーダー (PL) である京都大学の大槻勤氏及び早稲田大学の海老原充氏より、研究炉利用 (RRU) と中性子放射化分析 (NAA) の活動概要の説明があり、本ワークショップに関するいくつかの主要課題が挙げられた。初日後半から 2 日目の個別セッションでは、RRU グループでは、人材育成 (HRD) を含む原子核科学について、各国から順次発表がなされた。NAA グループでは、大気汚染、鉱物資源に関連する活動について各国から発表がなされ、次いでエンドユーザーとの連携等のトピックスについて議論された。そして RRU、NAA の各グループでそれぞれ議論の詳細内容をまとめた後、合同セッションで RRU、NAA それぞれの結果を発表した。3 日目は、午前中に IVG.1M 炉へのテクニカルビジットが行われ、午後は NNC において公開セミナーが開催された。NNC 副総裁のセルゲイ・ベレズィン氏からの開会挨拶に続いて、日本、バングラデシュ、マレーシアからの 5 名による基調講演があった。

#### 2) 各国発表概要

##### 2-1) 研究炉利用グループ

###### i) 人材育成 (HRD) を含む原子核科学

カザフスタンから 3 名のリードスピーチを含む、各国から原子核科学について発表が行われ、その後、質疑応答や意見交換がなされた。主な内容は以下のとおりである。

###### a) NNC 研究炉の利用 (カザフスタン国立原子力センター ヴァレンティン・ツェ氏)

NNC 設立時から研究炉の歴史について紹介がなされ、次にそれら研究炉の主要な技術的パラメーターを提示し、実施された様々な種類の実験のためのテストベンチについて報告があった。NNC 研究炉の転換プロセスの現況についても簡略に触れ、国内及び国際協力プログラムを含む NNC の HRD 活動、NNC の今後の計画についても言及された。

###### b) 核反応エネルギーから光放射エネルギーへの転換プロセス研究 (カザフスタン国立原子力センター クアヌシ・サマルハノフ氏)

リチウム-6 ( ${}^6\text{Li}$ ) 同位体と熱中性子との相互作用の核反応の結果として形成された高エネルギーのトリチウムイオン及び  $\alpha$  粒子の面線源生成技術が段階的に紹介された。また、核励起ブ



ラズマの発光スペクトル特性を研究するための炉実験のスキームについて説明がなされ、さらにリチウム毛管多孔質(CPS)を用いたアンプル装置の実験セルの熱物理計算の結果が提示された。IVG.1M 炉の中性子放射野において実施された炉内実験について、その結果とともに報告された。最後に、希ガス混合物ルミネセンスの核励起にリチウムの適用可能性が示された。

c) 核分裂・核融合炉の材料研究実験(カザフスタン国立原子力センター アルマン・ミニヤゾフ氏)

NNCの1部門である原子力研究所で実施された研究開発プロジェクトの概要が紹介された。燃料材料と核分裂炉の構造及び耐熱材料との相互作用の研究の結果が示された。さらに、核融合開発をサポートする研究(特に KTM トカマク及び ITER プロジェクト)について、1) セラミックストリチウム増殖材の高リチウム燃焼照射試験、2) カザフスタンにおける原子力開発及び 3) 核融合装置のトリチウム安全性の確認研究等の主要結果が紹介された。

d) オーストラリア(オーストラリア原子力科学技術機構 モシウル・アラム氏)

原子核科学は、オーストラリア原子力科学技術機構(ANSTO)における、人間の健康を含む様々な分野でオーストラリア人のみならずグローバルコミュニティに利益をもたらす主要分野である。ANSTO は組織の優先順位に従い、健康を維持するための核医学やそのイノベーションを推進している。ANSTO は知的開発に焦点を当て、ディスカバリーセンターを通して生徒や教師、一般の人々に情報を提供し、また学卒者対象のインターンシップ、学卒者採用、大学院研究・博士号取得後研究プログラムを提供している。ANSTO は、ルーカスハイツキャンパスに隣接する「nandin」と呼ばれるイノベーションセンターを創設し、ディープテクノロジー・インキュベーター、大学院センター及び先端技術産業コンポーネントからなる3階層の開発プロジェクトを準備している。

e) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 ラビヤ・アフテル氏)

バングラデシュ原子力委員会(BAEC)は、原子力の平和利用を目指した原子力研究開発プログラムを実施している。原子力科学技術研究所(INST)は、材料科学、生物科学、環境科学を含む様々な分野での研究を行っている。また INST は、分析、保健物理学、放射性廃棄物管理、多数の利用者への RI の供給等の様々なサービスを提供し、国の発展に寄与している。BAEC は、人材育成に寄与するために原子力教育及び訓練に関する様々なプログラムを有している。バングラデシュは新規の多目的研究炉 1 基の設置を建設予定であり、また既存の研究炉を改修してその運転寿命の延長と利用の強化を計画している。

f) インドネシア(インドネシア原子力庁 ヘル・ウムバラ氏)

多目的研究炉(RSG-GAS 炉)の利用は、原子核科学技術の研究活動ばかりでなく、RI 製造、ジェムストーン着色、NAA 並びに中性子回析法や中性子スペクトロメリーのような中性子ビーム用途などの広範な照射活動をも目的としている。教育・訓練専用センターは、原子核力科学技術、特に安全及び原子炉利用に関連する分野の人員の能力増強に焦点を当てている。将来の活動計画として、半導体産業用製造法開発のための実験、加圧水型原子炉(PWR)タイプ核燃料試験ロッドの非破壊試験に使用される出力急昇試験施設における実験がある。

g) 日本(京都大学複合原子力科学研究所 関本俊氏)

地球化学、宇宙化学、材料科学における様々な種類の試料について機器中性子放射化分析(INAA)及び放射化学的中性子放射化分析(RNAA)の実施を継続し、原子核科学の成果を達成している。NAA のトピックとしては、「はやぶさ」プロジェクトとそれに対する貢献を紹介し、

そのプロジェクトで得られた微量の試料を取り扱う方法をレビューした。さらに、医療用 RI としてのロジウム-105 ( $^{105}\text{Rh}$ ) 及びルテチウム-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) が京都大学の研究炉を使用して製造されたが、その製造量を電子線形加速器による製造量と比較検討された。

h) カザフスタン(核物理研究所 アセット・シャイメルデノフ氏)

カザフスタンでは、3 基の研究炉と 1 基の臨界施設が運転中である。2 基の研究炉はクルチャトフに、もう 1 基はアルマティにある。研究炉利用は、応用、基礎双方の多くの原子力研究活動にわたっている。クルチャトフの研究炉 (IVG1.M 及び IGR) は基本的に広範な用途の材料研究に利用されている。アルマティの研究炉 (WWR-K) は多目的研究炉であり、RI 製造、NAA、中性子ラジオグラフィ、材料研究及び原子核科学技術に利用されている。また、幾種類かの RI 製造が可能な Cyclone-30 加速器も運転中である。カザフスタンは原子力発電所建設を計画しているため、構造物材料研究と HRD はともに非常に重要である。また、WWR-K 炉での高解像度の回析計の開発と製作が計画されている。核物理学研究所の核医学・生物物理学センターに本拠を置き、製造される RI のリストを拡張するための取り組みが進行中である。

i) マレーシア(マレーシア原子力庁 ジュリア・アブドゥル・カリム氏)

マレーシア原子力庁は、いくつかの照射施設を備えた 1 MW の TRIGA 炉を 1 基運転しており、中性子科学研究、RI 製造、元素分析、教育・訓練活動に応じている。この研究炉は低出力であり、35 年以上運転されている。最大中性子束は  $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  である。この炉は週に 4 日、1 日約 8 時間運転されているが、要求に応じて、長期にわたる短寿命 RI 製造のために 18 時間から 24 時間続けて運転することができる。モリブデン (Mo) 製造等の用途を拡張し、先進的な中性子ビーム実験の実施を可能にし、それにより便益を拡張するために、新規研究炉の計画が進行中である。この新規研究炉プログラムは、利用拡大と先進的利用に対して増している要求を満たすことを目指している。

j) モンゴル(モンゴル国立大学 ミヤグマルジャフ・オドスレン氏)

モンゴルでの原子核科学の主要組織とその研究活動が紹介された。モンゴル国立大学原子力研究センターの最近の研究結果が提示され、モンゴル国立がんセンターにある 2 基の医療用線形加速器(高エネルギー及び低エネルギー)の利用が報告された。この 10 年で、モンゴル国内のがん死亡率は増大しており、この問題をもたらした多くの要因の 1 つに医療用 RI の供給不足が挙げられた。

k) タイ(タイ原子力技術研究所 カノクポーン・ブーンシリチャイ氏)

近年、タイでは中性子イメージング施設が改善された。外部コリメータが設置され、L/D 比は 60 まで増大した。回転台は 10 kg までのものに対応できるように再設計された。この機能や能力を発揮して標準試料の分析が行われている。その他の主要な開発として、中性子回析施設のデコミッションingがある。タイ原子力技術研究所 (TINT) と韓国原子力研究所 (KAERI) との共同プロジェクトとして、新しい施設が計画されている。HRD のために、TINT とシンクロトロン光研究所 (SLRI) は中性子-シンクロトロン科学施設を共催している。しかし、効率的なユーザー・エンゲージメント・プログラムが依然として必要とされているのが現状である。新規研究炉のためのプロジェクトが政府に対して提案されているが、パブリックアクセプタンスの問題が残っている。

h) ベトナム(ベトナム原子力研究所 ドゥオン・ヴァン・ドン氏)

現在、定格出力 500 kW のダラト研究炉(DNRR)がベトナムにおける唯一の研究炉である。1983 年終わり頃に再建された後、この原子炉は 35 年以上の間、原子核科学及び原子炉利用において、a) 医療用 RI と放射性医薬品製造、農業及び工業用 RI 製造、b) NAA 用試料の照射、c) 中性子ビーム研究(即発ガンマ線中性子放射化分析(PGNAA)、中性子ラジオグラフィ(NR)、原子力データ測定等)、d) 原子炉運転員の訓練、大学の学生・教員のための実習、新規研究炉のための人材育成に関連するプログラム等の主要な役割を果たしてきた。

## 2-2) 中性子放射化分析グループ

2015 年度に開始された第 5 フェーズでは、2 サブプロジェクト「大気汚染-SPM」及び「鉱物資源-REE」が設けられた。大気汚染サブプロジェクトでは、各参加国から浮遊粒子状物質(SPM)試料、特にいわゆる PM<sub>2.5</sub> が採取されることとなっており、NAA やその他の手法によりこれらの SPM 試料について分析され、各サイトの大気汚染レベルがモニタリングされた。鉱物資源サブプロジェクトでは、各種希土類元素(REEs)及びウラン(U)といった有用な元素を含む鉱物が NAA で分析されることとなっており、鉱物資源の質の評価における NAA の有効性と有用性が示された。

i) 大気汚染に係る活動の進捗について

「大気汚染-SPM」サブプロジェクトの NAA 活動について、参加各国より以下のとおり発表が行われた。

a) インドネシア(インドネシア原子力庁 スティスナ氏)

バンドン市の試料採取サイトにおいて、2015 年から 2019 年に大気粉塵(APM)の調査が実施された。APM の 3 つの重要パラメーター(質量分率、主要元素及び選択された元素のプロファイル)が提示された。この期間にわたり、質量濃度の時系列が微小粒子及び粗粒子について得られた。主要元素の分析をもとに、それら元素の土壌、車及びバイオマス源について論じられた。硫黄(S)、鉄(Fe)、カリウム(K)及び亜鉛(Zn)の元素濃度も示され、議論された。

b) 日本(京都大学複合原子力科学研究所 関本俊氏)

SPM の採取と元素分析を通して、大阪府熊取における大気環境の評価が進行中である。SPM(PM<sub>2.5</sub>)はマルチノズル・カスケード・インパクト(MCI)サンプラーを使用して採取されている。採取は 2018 年 5 月 29 日に開始され、継続中である。採取された SPM 試料は  $k_0$ -NAA 法を使用して分析され、24 の元素が定量化された。SPM 発生源の決定が進行中である。

c) マレーシア(マレーシア原子力庁 シャムスイア・アブドゥル・ラフマン氏)

マレーシアは、微小粒子(PM<sub>2.5</sub>)及び粗粒子(PM<sub>2.5</sub>~10)を収集するために、週に 2 回、採取サイトにおける試料採取を続けた。2012~2017 年の期間に収集された試料に対する PMF(Positive Matrix Factorization)解析では、微小粒子及び粗粒子についてそれぞれ 5 つのソースファクターが特定された。微小粒子は、自動車、二次生成硫酸塩、バイオマス燃焼、土壌及び道路粉塵であり、粗粒子は、自動車、工業用塩素、土壌及び土壌組織であった。

d) モンゴル(モンゴル国立大学 ダムディンスレン・ボロルチューヤ氏)

モンゴルでは、NAA 及びその他の関連手法で、大気汚染及び土壌汚染を含む環境分析が行われた。研究結果は、汚染レベルは大気質及び土壌質の標準値よりも 4~10.7 倍高いことを

示している。APM フィルター分析のための新しい NAA 法を開発し、また NAA を用いたバイオモニタリング技術を改善することが推奨された。

e) ベトナム(ベトナム原子力研究所 トラン・トゥアン・アン氏)

文部科学省プログラムで、一人のベトナム人研究者が京都大学研究炉(KUR)で大気汚染研究のためのSPMの収集及び分析の訓練を受けた。KAERIと協力して、PM試料の照射と測定がダラト研究炉で実施された。「石炭火力発電所の大気質及び環境影響評価」に関するベトナムの科学技術省(MOST)プロジェクトが2021年～2022年に対して提案されている。

ii) 鉱物資源に係る活動の進捗について

「鉱物資源-REE」サブプロジェクトのNAA活動について、参加各国より以下のとおり発表が行われた。

a) オーストラリア(オーストラリア原子力科学技術機構 ジョン・ウィリアム・ベネット氏)

オーストラリア企業のためのルーチン測定には、新しい標準物質中の金の均質性の決定及びチタン加工フローシート中の様々な段階における塩素濃度の定量が含まれる。大気サンプリングフィルター中のREEを測定するための新しいプロジェクトが交渉過程にある。

b) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 カムルン・ナヘル氏)

セントマーチン島の砂が分析されたが、重鉱物は確認されなかった。過去12ヶ月間にIAEAの2つの相互比較演習に参加し、土壌、堆積物、スパイス等に含まれる主要元素、微量元素及びREEをNAAによって分析した。学術研究、人材育成及びエンドユーザーとの共同研究や連携の分野における活動を増強した。

c) カザフスタン(カザフスタン国立原子力センター イリーナ・プロゾロワ氏)

ITER 施設はフランス南部で建設中であり、トカマク複合施設の建屋(B11)も含まれている。安全のために、原子炉の停止とデコミッショニング後の放射線量率を決定するためにコンクリートの放射化の正しい評価が要求される。この評価を行うために、INAAの方法を使用してコンクリートの化学組成を調べている。

d) マレーシア(マレーシア原子力庁 シャムスィア・アブドゥル・ラフマン氏)

分析サービスの提供を継続しており、特に規制機関である原子力許認可委員会(AELB)、鉱物加工産業、鉱物取引業者及びLynas (Malaysia) Sdn Bhd社に対する分析サービスである。

e) タイ(タイ原子力技術研究所 ジャテチャン・チャンヌイ氏)

標準物質(モンタナ土壌 2711a)中の2つの元素濃度の予備的結果が、 $k_0$ -NAAを使用して報告された。修正が必要ないいくつかのエラーがあったが、より高い精度と多元素決定のために $k_0$ -NAA法の開発を継続していく。

f) ベトナム(ベトナム原子力研究所 トラン・トゥアン・アン氏)

顧客から要請された5つの試料中のREEが $k_0$ -NAAによって分析された。 $k_0$ -INAA及び誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)を使用した「カットティエン及びオケオバテ・サイトにおける考古学的試料中のREEの調査」に関するベトナムのMOSTのプロジェクトが2020年～2021年に実施される予定である。アルミ缶中の中性子束の変化についての補正及び繰り返し中性子放射化分析(CNAA)での短寿命同位元素の不感時間が調べられた。

### 3) ワークショップのまとめ

#### i) 研究炉利用グループ

各国発表及び議論の結果、結論は以下のとおりである。

#### a) 総合討論

過去 3 年間の各参加国の RRU プロジェクト評価(ただし NAA を除く)を目指した。全ての参加国に質問票を送り、事前調査が行われた。調査結果の要約を下表に示す。

(1=非常に不十分、2=不十分、3=平均的、4=良好、5=非常に良好)

	オーストラリア	バングラデシュ	中国	インドネシア	カザフスタン	韓国	マレーシア	モンゴル	フィリピン	タイ	ベトナム	計
b. RI 製造 2017, 2018	4	4	4	5	4	N/A	5	5	5	3	5	44
d.原子核科学 2019	4	3-4	3	4	-	-	4	4	-	4	4	30.5
e. BNCT, NR 2018	3	3 for NR	4	3	4	N/A	4	5	3	4	4	37
f.材料研究 2018	3	2	2	4	4	N/A	4	3	4	4	4	34
g.新しい研究炉 2017	4	3	4	4	3	N/A	5	5	5	5	4	42
h.人材育成 2019	4	3-4	3	4	4	-	4	3	-	4	5	34.5

参加国からの参加者たちはこの調査に対して更にコメントを加えた。調査結果と討論に基づき、プロジェクトの優先傾向は次のとおりである。

1. RI 製造
2. 新しい研究炉
3. ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)、中性子ラジオグラフィ (NR)
4. 人材育成 (HRD)
5. 材料研究
6. 原子核科学

RI 製造に関係するプロジェクトは参加国間で最も好まれている。しかし参加国のコメントによれば、これらのトピックと併せて、次のようなサブトピックを扱う必要があるかもしれない。

- a) 放射線安全
- b) 患者の安全性
- c) 精製
- d) 品質保証/品質管理 (QA/QC)

全参加者が、RRU プロジェクトへの参加は様々な側面で有益であったとした。例えば、個々の参加国の能力及び弱点、技術的困難、改善のための知見共有、実地的な経験とネットワーク構築のための原子力基盤の視察といった側面である。

#### b) 次フェーズに向けた RRU グループの将来計画

RRU プロジェクトには 8 つのトピックがあり、2017 年度～2019 年度の 3 年間はこれら全てのトピックについて討論を行ってきた。これらのトピックは非常に広範囲にわたっており、より良い成果と知見を得られるよう次フェーズでは特定のトピックに焦点を当てることで合意された。

本ワークショップを毎年開催することの利点は、RRU における新しいテーマについて討論し、ネットワーク構築の機会が提供されることである。

次フェーズの RRU プロジェクトでは次のトピックについて検討する。

- a. 中性子放射化分析(NAA)
- b. 新しい放射性同位元素を含む放射性同位元素製造
- c. 中性子散乱
- d. ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)、中性子ラジオグラフィ(NR)
- e. 材料研究
- f. 新しい研究炉
- g. 人材育成など

参加国はいくつかのトピックについて話し合い、3 年間の次フェーズで採用する原子核科学分野における特定のトピックが検討された。考えられるトピックは、環境物質の NAA、医薬品用途のための精製を含む新しい RI 製造、実用的な QA/QC 及び新しい研究炉に関する協力の可能性であり、それ以外にも新規課題を含めて考慮される。

## ii) 中性子放射化分析グループ

各国発表及び議論の結果、結論は以下のとおりである。

### a) 大気汚染(SPM)サブプロジェクト

参加各国で実施されている SPM サブプロジェクトに関する討論が行われた。良いデータが得られ、少なくとも 1 つの共著雑誌論文が 2020 年の出版に向けて検討されている。しかしながら、この用途のための NAA にはいくつかの限界があることが明らかになった。その 1 つは、NAA では Pb、ケイ素(Si) 及び S といったいくつかの重要な元素の定量ができないことである。もっと重要なことは、分析対象の大気浮遊塵試料の分析にかかる所要時間(ターンアラウンドタイム)が長すぎて、研究室では定期的に収集される多数の試料に対処できないことである。それでも NAA を使用しての特定の重要元素(ヒ素(As)、K、臭素(Br) 及びアンチモン(Sb))の測定には価値があり、多数の国が将来もそれぞれの測定プログラムの継続に取り組んでいくとした。

### b) 鉱物資源－希土類元素(REE)サブプロジェクト

新しい研究室間相互比較のための適切な日本の標準物質は見つけることができなかったが、参加各国は鉱物試料の測定実施を継続した。活動には、鉱業のための標準物質の認証への参加、鉱物加工製品の分析、産業汚染の影響を受けた区域内の堆積物分析などがあった。

### c) 次フェーズに向けた NAA グループの将来計画

NAA サブプロジェクトの次フェーズの焦点は環境モニタリングとするとの共通の合意があった。この統一テーマにはいくつかの利点がある。政府機関、規制機関、産業界及び研究者を含む広範な潜在的エンドユーザーがいることである。このトピックには次のような関係試料を含むことができる: 大気汚染、土壌・河川・湖及び海洋の汚染、食品及び栄養物、産業活動、浸食過程等。複数の測定技術の適用を通して、各参加者は NAA が明確な分析的利点を提供する主要分野を特定することができるであろう。NAA を有益な環境成果に結びつける積極的なコミュニケーションが期待される。

c) 結論

- ① NAA グループは、計画された目標達成に向けた取り組みを継続しており、いくつかの重要な進歩が達成された。
- ② エンドユーザーとの生産的な連携を維持し更に強めていく取り組みを継続的に改善してきた。
- ③ 大気汚染と鉱物資源の 2 つのサブプロジェクトは、2020 年 3 月に終了する現行フェーズにおいて完了予定である。
- ④ 2020 年 4 月に開始する NAA サブプロジェクトの次のフェーズは環境モニタリングに関する課題におくものと提案された。

## 2.4 原子力安全強化分野

### 2.4.1 放射線安全・廃棄物管理プロジェクト

#### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日:2019 年 10 月 1 日(火)～10 月 3 日(木)
- ii) 場所:ベトナム、ハノイ
- iii) 主催:文部科学省(MEXT)、ベトナム原子力研究所(VINATOM)
- iv) 参加者:オーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピンより各 1 名、タイより 2 名、ベトナムより 13 名、日本より 6 名、合計 29 名  
(添付資料 2.6.2(p175) 参照)
- v) 日程:添付資料 2.6.3(p178) 参照

本ワークショップは、2019 年 10 月 2 日～10 月 3 日の 3 日間、ベトナムのハノイにおいて開催された。

VINATOM 副所長兼 FNCA ベトナムコーディネーターであるチャン・ゴック・トアン氏及び FNCA 日本コーディネーターである和田智明氏より開会の挨拶が述べられた。両氏は、参加国における放射性廃棄物管理の重要性を強調し、ワークショップの成功を祈った。最初に和田氏が、2018 年～2019 年における FNCA の成果について発表を行った。和田氏は、第 19 回 FNCA コーディネーター会合で合意された「結論と提言」において、本プロジェクトが参加国の低レベル放射性廃棄物管理の安全性向上を支援することが提案された旨紹介した。次に、FNCA ベトナムのプロジェクトリーダー(PL)であるレ・チー・マイ・フォン氏が、FNCA 活動におけるベトナムの成果について発表をおこなった。レ氏は、FNCA 活動において参加国間で情報及び経験を共有することで、放射性廃棄物管理の特に技術側面についての理解と正確な情報の獲得が促進されたと説明した。最後に、日本の PL である小佐古敏荘氏が、プロジェクトの概要について発表を行い、ワークショップ中に討議を行う統合化報告書について説明した。その後、11 ヶ国が、低レベル放射性廃棄物処分場に関する進捗、課題、問題及び将来計画について報告した。続いて、VINATOM のグエン・バ・ティエン氏が天然放射性核種(NORM)及び人為的な過程を経て濃度が高められた自然起源の放射性物質(TENORM)について、マレーシアの PL であるノラサルワ・ザカリア氏が使用済線源処分について、それぞれ発表を行った。グエン氏は、ベトナムにおける NORM/TENORM の処分について発表を行い、ウランの加工、海浜砂中鉱物の採掘、レアアース鉱石の開発、ジルコン(ZOC)製造において生じる尾鉱廃棄物管理に関する問題を紹介した。ザカリア氏は、マレーシアにおける使用済線源の処分について、ボアホールシステムに言及しつつ発表を行った。また、立地、サイト特性調査、安全評価、今後数年間の計画についても説明を行った。

2 日目には、FNCA 日本アドバイザーである南波秀樹氏が、文部科学省の人材育成プログラム及び放射線安全・廃棄物管理プロジェクトに関連する FNCA 活動について紹介した。小佐古氏によると、文部科学省の人材育成プログラムフェローの中には、プログラム終了後に自身の組織において委員長や所長を含む重要な役職に就いている者も存在する。さらに、本ワークショップ参加者のうち 6 名が、文部科学省の人材育成プログラムに参加した経験を持つ。南波氏の発表の後、参加者は統合化報告書の一般的な内容を扱う章(General Part)及び国特有の内容を扱う章(Specific Part)について討議を行った。午後には、11 ヶ国が、自国のホッ



トピックについてポスターを使用して紹介した。その後、本年度が現行フェーズの最終年度となるため、参加者は第 6 フェーズ(2017 年度～2019 年度)のプロジェクト活動の最終報告完成に向けて討議を行った。2020 年度より開始される第 7 フェーズに向けた提案が討議された。次フェーズのテーマとして、主に NORM/TENORM 管理が議論された。レ氏、小佐古氏及び南波氏の閉会の挨拶をもって、ワークショップは正式に閉会した。

3 日目には、イエンバイ省にある Yen Phu Rare Earth JSC への視察が実施された。

## 2) 各国発表概要

### i) 低レベル放射性廃棄物処分場に関するカントリーレポート

11 ヶ国が、低レベル放射性廃棄物処分場の現状(低レベル放射性廃棄物処分場に関する課題、問題、将来計画を含む)について発表を行った。

#### a) オーストラリア(オーストラリア原子力科学技術機構 ダンカン・ケンプ氏)

過去 1 年間における、オーストラリアの放射性廃棄物処分場に関する進歩は最小限であった。取り組みの主な焦点は、処分場計画の経済、所有権(オーナーシップ)モデル及び公衆協議プロセスにおける法的課題であった。これらの課題、結果及び処分場開発への影響についてグループに最新の情報を共有する。また、インベントリに関する現在の進行状況と、本プロジェクト全体におけるその重要性を説明する。これは、安価で比較的良く定義されたタスクとして、処分場の定義において非常に重要である。

#### b) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 モイヌル・イスラム氏)

バングラデシュでは、密封及び非密封の放射性廃棄物が、医療、農業、工業、研究・教育等における原子力技術を含む様々な活動における放射線源の使用により生じている。この発表では、放射性廃棄物管理に関する規制枠組み及び認可済み放射線施設の概要を示す。また、放射性廃棄物の発生源及び 2019 年までの国内の様々なステークホルダーからの廃棄物生成の割合もこの発表で示す。処理済み及び未処理の廃棄物は、バングラデシュ原子力委員会(BAEC)の衛生物理・放射性廃棄物管理部(HPRWMU)の中央放射性廃棄物処理・貯蔵施設(CWPSF)において安全に貯蔵されている。

「原子力科学・技術機関の強化」(Strengthening of Institute of Nuclear Science and Technology)と題する、バングラデシュ政府年間開発プロジェクト(ADP: Annual Development Project)のもとでの CWPSF の強化のためのプロジェクト提案が提出されている。これに加えて、放射性廃棄物処分施設の立地選定を含む BAEC の地質調査プロジェクトにおけるキャパシティ・ビルディングが、承認を求めて計画委員会に提出された。国内の放射性廃棄物処分場の設置に関するいくつかの課題も、この発表で簡略に扱われる。

#### c) 中国(中国核工業集団 チン・グオチアン氏)

中華人民共和国政府は、2019 年 9 月 3 日に「中国における原子力安全」と題する白書を発行した。この白書では、原子力安全に対する中国のアプローチを紹介し、その基本的な原則と政策について詳しく説明し、規制の概念と慣行を共有し、全世界の原子力安全ガバナンスを推進するための中国の決意と、これを達成するために政府がとった行動を明らかにするものである。

この白書では、放射性廃棄物の処分に関する政策及び慣行が述べられている。中国では、次のような放射性廃棄物分類、つまり原子力安全要件を満たす場所での低レベル及び中レベル放射性廃棄物の浅地中又は中深度処分及び中央化した場所での高レベル放射性廃棄物の深地層処分を実施している。

中国では、良好な安全記録を有する2カ所の低レベル及び中レベル放射性固体廃棄物処分場が稼働中である。

福建省、浙江省、広東省、遼寧省、山東省等、複数の原子力発電所がある省において、5カ所の固体低・中レベル放射性廃棄物処分場の新たな立地選定の取り組みが現在行われている。2019年5月、甘肅省・北山(Beishan)にある高レベル放射性廃棄物の地層処分プロジェクトのための地下研究所が中国当局によって承認された。

d) インドネシア(インドネシア原子力庁 ダドン・イスカンダル氏)

インドネシアは3基の研究炉(30 MW、2 MW 及び 100 kW)を有しており、放射性同位体は様々な分野で応用されている。2019年6月現在、インドネシアで使用されている放射線源のインベントリは6,424線源であり、使用済密封放射線源(DSRS)の数はカテゴリー3～5が3,031個、カテゴリー1～2が34個である。これらのDSRSのうち、1,102線源が174のカプセルに封入されている。CRWTにおける2つの中間貯蔵施設は放射性廃棄物で満杯のため、処分が1つの代替策となっている。戦略計画2015-2019において、インドネシア原子力庁(BATAN)は低レベル放射性廃棄物処分のために浅地中処分場の建設を計画しているが、このプロジェクトは延期された。戦略計画2020-2024において、BATANは2022年にDSRS用のボアホール処分場を建設することを計画している。このボアホール処分場の立地は、浅地中処分場の立地と同一である。必要とされる環境データは入手可能であり、掘削によって地下深さ100 mまでのサイトの特性評価が行われている。50 mから100 mの母岩は、ボアホールにとって適切な、低透水性のシルト岩/粘土岩である。ボアホールの設計は、直径16.5 cm、深さ100 mであり、DSRSコンテナは50 mから100 mの深さに埋設される。次の活動は、ボアホールの概念設計及び詳細設計と、適切なソフトウェアを使用した建設中から閉鎖後までの安全評価の実施である。

e) 日本(日本原子力研究開発機構 齋藤龍郎氏)

日本の国別報告として、以下の3トピックを紹介する:

- ①日本における放射性廃棄物処分概念
- ②日本原子力研究開発機構(JAEA)の処分施設の概念設計
- ③処分の予備的安全評価

以下のとおり報告を要約する:

- JAEAは、日本における原子力研究及びアイソトープの医療・工業利用により生じる低レベル放射性廃棄物の処分プロジェクトを推進している。
- JAEAは、原子力研究及び医療・工業によって生じる低レベル放射性廃棄物の処分施設の概念設計を行っている。
- JAEAは処分にに関する予備的安全評価を実施している。

f) カザフスタン(カザフスタン国立原子力センター エフゲニー・トゥール氏)

カザフスタン共和国における低レベル放射性廃棄物の主要な発生源はウラン産業である。10年前、カザフスタンは、以前のウラン鉱山及び精鉱施設の保存及びそれらの敷地の修復に関する大量の作業を完了した。その後、一部の用地において、作られた保護層が人工又は自然の理由によって損傷していることが発見された。現在、これらの層の回復及び用地の適切な管理と監視の作業が行われている。

多くの固体及び液体廃棄物が BN-350 原子炉の稼働中に生成された。これらの廃棄物の管理に対して開発された、いくつかのプロジェクトがある。固体放射性廃棄物処理プロジェクトは、廃棄物をトレンチから抽出し、粉碎してバレルに入れ、バレルをプレスし、強化したコンクリート製回収不能コンテナにブリケットを詰め、コンテナをセメントで固めて密封し、コンテナを長期貯蔵場に配置することを提案した。液体金属冷却材の再処理に関するプロジェクトの実施中、一次冷却材は吸収材によってセシウムが取り除かれ、そのようにセシウムが取り除かれた冷却材を濃縮アルカリ溶液に加工する施設が建設され、稼働開始しており、アルカリを長期の安全貯蔵に適したジオセメント・ストーンに加工する施設が現在開発中である。

長期貯蔵施設プロジェクトが開発中である。この貯蔵施設は、以前の核実験場の汚染土のために提案されている。総容積は 100,000 m<sup>3</sup>である。貯蔵施設の稼働開始は 2024 年以降に計画されている。

g) マレーシア(マレーシア原子力庁 ノラサルワ・ビンティ・ザカリア氏)

スマートな投資とは、人的資本が教育と訓練を通して容易に増大可能であるような、人的資本への投資である。マレーシアにおける低レベル放射性廃棄物プロジェクトは 2011 年の前年に開始したが、その後、2013 年以降、その優先順位は下がり、使用済密封放射性線源の処分のためのボアホール処分プロジェクトに道を譲る形となった。国営放射性廃棄物管理センター(National Radioactive Waste Management Centre)では 2013 年から今日まで、転任や退職、転職により、大幅な人員の入れ替わりがあった。そのため、新しいスタッフが適切な訓練を受け、国の処分場プロジェクト継続の暗黙知を得ることが非常に重要である。

このマレーシアの報告書は、全体的な国の処分場プログラムの改訂された計画とタイムラインを強調している。2008 年から 2013 年にかけてのこのプログラムの第 1 フェーズでは、国のサイト・スクリーニング・プログラムに焦点が当てられた。第 2 フェーズ(2018 年～2025 年)では、サイト評価と安全評価が焦点項目となる。この報告では、スタッフの訓練計画を紹介し、行われた訓練のいくつかからの主要な成果を報告する。

h) モンゴル(モンゴル原子力委員会 ウランチメグ・バットデルゲル氏)

モンゴルは、およそ 150 万 km<sup>2</sup>という広い国土と人口 323 万人を擁する中央アジアの内陸国である。本報告の主な目的は、原子力と放射線の安全とセキュリティを発展させるためのモンゴルの法的環境を評価することである。モンゴル原子力委員会(NEC)は、2015 年初めに、原子力エネルギー改正法のもとでモンゴル政府によって設立された。以来、この委員会は、「放射性鉱物と原子力エネルギーの利用に関する国家政策」及びこの分野での規制法である原子力エネルギー法を策定している。NEC は、放射性鉱物の採鉱及び原子力エネルギーの利用に関する国家政策の開発と実施に責任を有し、また、原子力の安全と放射線防護を確

実にするための調整活動、安全及びセキュリティ規則の策定と採用並びに原子力施設の許可に責任を有する。

国家専門検査庁(GASI: General Agency For Specialised Inspection)の活動は主として次の事項の管理に焦点を当てている。すなわち、工業、医療及び研究センターにおける放射線源の利用と、核物質・放射性物質の違法取引を防止し、放射性鉱物の採鉱、加工、輸入、輸出及び輸送を監視するためのポータル・モニターの設置である。

原子力エネルギー委員会のアイソトープ・センターは放射性廃棄物管理施設を運営しており、モンゴル国内の放射線源及び放射性廃棄物の安全な貯蔵と、放射性物質の安全な輸送に責任を有する。アイソトープ・センターはまた、政府決議 No. 135、軍隊の業務規則及び輸送管理に関する組織手順による国家保護の対象でもある。

i) フィリピン(フィリピン原子力研究所 クリスティン・マリー・ダカロ・ロマロサ氏)

フィリピンには放射性廃棄物管理の能力はあるが、取り組むべき安全とセキュリティの問題がある。例えば、放射性廃棄物管理に関する国家政策や戦略はまだ存在しない。新しい国際及び国内安全基準に適合するために再処理が必要な、セメント固化した DSRS の約 80 個のドラム及び 165 のラジウム針がある。また、放射性廃棄物施設の周辺地域は現在、人口が密集した市街地域であり、放射性物質のセキュリティが懸念事項となっている。原子力技術の需要がこの数年増大しており、したがって、生成される放射性廃棄物の量とタイプも増大することが予想される。現在の施設は放射性廃棄物の中間貯蔵用にのみ設計されており、処分施設はまだない。この発表では、フィリピンにおける包括的な放射性廃棄物管理の開発のために提案される活動と現在行われている活動について論じる。処理・貯蔵施設の設計などにおける協力の可能性についても提示する。

j) タイ(タイ原子力技術研究所 ウィッサヌ・ケイトケオ氏)

タイにおける原子力及び放射線技術は、1935 年の Siriraj 総合病院におけるがんの治療と診断のための医療放射線の利用まで遡ることができる。それ以来この技術は、例えば医療、工業、研究開発、教育といったタイの様々な部門で広く利用されている。いくつかの原子力及び放射線施設が社会的、経済的ニーズに役立つように開発されており、それと並行して、放射線の安全とセキュリティ及び核保障措置は強化され、補強されている。原子力及び放射線技術の利用が社会で重要な役割を果たしている他の国々と同様に、タイでも放射性廃棄物が生成されることは避けられず、これは安全に管理されるべきである。

タイにおける放射性廃棄物の管理は、「平和目的のための原子力エネルギー法」(Nuclear Energy for Peace Act) B.E.2559(2016 年)に従った統制と規制のもとでなされている。放射性廃棄物の処分は、「放射性廃棄物管理に関する省規則」(Ministerial regulation on radioactive waste management) B.E.2561(2018 年)によって実施される。タイにおける放射性廃棄物の発生源は、放射性同位体の製造と利用、研究炉の運転、密封放射線源の使用、原子力・放射線施設の廃止措置である。生成される放射性廃棄物のタイプは、放射性物質に汚染された物質、使用済密封放射線源からの廃棄物、廃止措置廃棄物、NORM 廃棄物及び使用済核燃料である。放射性廃棄物の持続可能な管理、ライフサイクル評価及び「ゆりかごから墓場まで」のコンセプトが研究されている。放射性廃棄物管理の最終段階は安全な処分でなければならない。タイにおける放射性廃棄物のインベントリはタイプと量における重要度を示しており、こ

れが廃棄物処分の選択肢と処分場の立地に反映されている。例えば、地質、地震、降雨、洪水及び土地利用といった予備立地選定調査に関する要素がレビューされた。他の要素も考慮された。例えば、土地の所有権とコスト、廃棄物輸送、既存及び将来の土地開発などである。予備調査の結果及び処分場開発に関する見通しについて論じられる。

1) ベトナム(放射性・希土類元素研究所 レ・チー・マイ・フォン氏)

ベトナムにおける放射性廃棄物は、研究、工業、医療用途、研究炉の運転及び放射性医薬品製造から生じる。NORM 及び TENORM は、ベトナムにおいて、採鉱、鉱物砂加工及びその他の資源部門によって生成されている。これらの廃棄物の放射性元素のモニタリング及びその埋設及び管理は依然として、通常の製造廃棄物のそれと同様に行われている(化学物質の危険を斟酌してはいるかもしれない)が、放射能に関してはあまり注意が払われていない。

ベトナムには原子力発電所はない。

現在、ベトナムは、増大する電力需要を満たすため、また、エネルギーの安定供給を確保するための、原子力の導入を延期している。原子力科学技術センター(CNEST: Center for Nuclear Science and Technology)を設立するための協力プロジェクトが、ベトナム社会主義共和国政府とロシア連邦政府との間の合意(2011年11月21日署名)により、実施されることが合意された。このプロジェクトの焦点は、推定容量約10 MWの研究炉である。

これまでのところ、ベトナムには、使用済放射線源及び放射性廃棄物のための国営貯蔵施設はない。

この発表には、次の主要内容が含まれている。放射性廃棄物管理方針、法的枠組み、ベトナムにおける放射性廃棄物の現行の管理、低レベル放射性廃棄物中央施設の立地選定、及びベトナムにおける放射性廃棄物管理の方向づけ、課題、計画、提案。

ii) NORM/TENORM 及び使用済線源処分に関する発表

2ヶ国が、NORM/TENORM 及び使用済線源処分について、以下とおり発表を行った。

a) ベトナム(ベトナム原子力研究所 グエン・バ・ティエン氏)

NORM/TENORM の放射性廃棄物の管理が現在、世界中の国々、特に国際原子力機関(IAEA)によって、調査されている。ベトナムでは、NORM/TENORM に関連する施設が稼働し始めたばかりであり、その管理はまだ比較的新しい。国の管理機関はこの問題に関する特定の方針を有していない。この文書では、ベトナムにおける放射性元素を含んだ採鉱及び加工施設における、廃棄物管理の現状について述べる。特に、ウラン処理実験、海浜砂鉱物の採鉱と加工、希土類鉱石の採鉱と加工及びZOC(オキシ塩化ジルコニウム)製造における、尾鉱廃棄物管理の問題である。鉱業、石油精製及びリン酸塩加工から生じる廃棄物については、ボーキサイトを処理する過リン酸塩が生じるが、廃棄物生成者及び国の管理機関はまだそれらを検査していない。これらの廃棄物の放射性元素のモニタリング及びその埋設と管理は依然として、通常の製造廃棄物の場合と同様に行われている(化学物質の危険を斟酌してはいるかもしれない)が、放射能に関してはあまり注意が払われていない。埋め立て処理場はまだ組織的な建設には投資されておらず、あまり密に監視されていない。このことが、廃棄物貯蔵施設の機能停止の頻発につながっている。この報告ではまた、ベトナムにおける近い将来のこのタイプの廃棄物の進展の可能性について報告し、環境のための安全を確実にし、放射性

元素を含有する鉱物資源の開拓、採鉱、加工の分野への企業の参加を促進するために、ベトナムにおける NORM/TENORM に関する物質管理政策策定の必要性に関する推奨事項を天然資源環境省、科学技術省に対して提案している。

b) マレーシア(マレーシア原子力庁 ノラサルワ・ビンティ・ザカリア氏)

廃棄物の処分は、放射性廃棄物管理の階層の中でも、人々、健康及び環境の保護を確実にするための持続可能な措置である。廃棄物処分は、原子力発電所の設計における「深層防護」の原則に似た多重バリアのコンセプトを使用する。使用済線源の処分方法の1つは、ボアホール処分施設である。マレーシアは、IAEA からの強力な技術支援を得て、マレーシア国内のカテゴリー3～5 の線源の処分のために、この施設開発プロジェクトに着手した。このプロジェクトは 2011 年に開始し、最近、プロジェクト提唱者であるマレーシア原子力庁は、ボアホール処分施設の建設と運転の認可を無事に取得した。この発表では、プロジェクト実施の様々な段階全体を通じた経験及びプロジェクトを完了するためにとるべき次の一連の行動を強調して述べる。

iii) ポスターセッション

11 ヶ国が、各国のホットピックについて、以下のとおりポスター発表を行った。

a) オーストラリア(オーストラリア原子力科学技術機構 ダンカン・ケンプ氏)

オーストラリアは、中レベル放射性廃棄物の貯蔵と処分に関するホットピックについてポスター発表を行う。オーストラリア政府は、中レベルを含む国内の全ての放射性廃棄物について、解決策を模索している。中レベル放射性廃棄物の発生源はいくつか存在するが、最大の発生源は ANSTO である。低レベル放射性廃棄物処分場設計には中レベル放射性廃棄物の貯蔵も含まれており、貯蔵に関する数多くの政治的及び社会的な議論が巻き起こっている。

- 低レベル放射性廃棄物と中レベル放射性廃棄物を一緒に貯蔵することは適切なのか。
- 中レベル放射性廃棄物をサイトに輸送し、数十年後に別の場所に移すという計 2 度の移動が生じる(二度手間)のは適切なのか。
- ほとんどの中レベル放射性廃棄物が ANSTO に貯蔵されているが、その廃棄物が安全な状態になった場合、外国に輸送することに利点はあるのか。
- 処分に向けて中レベル放射性廃棄物を安定化処理もしくは完全にコンディショニングするべきか。
- 中レベル放射性廃棄物の処分概念が不明な場合、廃棄物をどのようにコンディショニングするべきか。
- 中レベル放射性廃棄物の適切な処分メカニズムとは何か。
- 中レベル放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物に比べて安全か危険か。
- 中レベル放射性廃棄物の最善の輸送方法は何か。

ポスターでは、オーストラリアの中レベル放射性廃棄物にまつわるディベートの現状について説明している。

b) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 モイスル・イスラム氏)

バングラデシュでは原子力の平和利用のため、放射線利用に関する様々な研究開発活動が行われている。放射線は、工業、農業及び治療の目的で利用されている。BAEC における

放射線利用の研究開発は、研究炉、放射線加工及び技術、放射性アイソトープの利用、食品照射等を網羅している。現在及び将来的に、放射線源及び放射性廃棄物による電離放射線から人と環境を確実に守るため、BAEC の保健物理及び放射性廃棄物管理ユニット (HPRWMU) では、様々な分野で活動を行っている。環境放射能モニタリング、放射性廃棄物管理、二次線量標準機関、放射線防護サービスに関する全国での活動が、ポスターで説明されている。

c) 中国(中国核工業集団 チン・グオチアン氏)

1985 年、中国初の原子力発電所である秦山原子力発電所の建設が開始されて以来、中国は安全で信頼性のある原子炉技術を導入し、また他国の主な原子力事故の経験や教訓から学ぶことで安全の向上を図っている。それから 30 年以上経ち、中国は独自の設計、建設及び運用能力を達成し、安全で効率的な開発という新たなステージに入った。2019 年 6 月現在、中国で運転中の原子力発電所数は世界で 3 番目に多い 47 基であり、建設中の原子力発電所数は世界最多の 11 基である。世界初となる華竜 1 号機が現在福清原子力発電所にて建設中である。計画によると、華竜 1 号機は 2020 年に商業運転を開始する予定である。

原子力発電所の発電能力が急激に増大したため、それに伴い発電所の運転によって発生する低・中レベル放射性廃棄物の量も急増した。低・中レベル放射性固体廃棄物の適時かつ安全な処分が、中国における原子力の持続可能な発展の鍵となる。新たな低・中レベル放射性固体廃棄物処分場のサイト選定及び建設を加速させることが喫緊かつ不可欠である。しかし実際には、サイト選定と建設の進捗が遅れており、その最も重要な原因は“Not In My Backyard (NIMBY)”である。

d) インドネシア(インドネシア原子力庁 ダドン・イスカンダル氏)

BATAN の放射性廃棄物管理技術センターは、研究・技術・高等教育省からの研究助成を受け、2019 年 4 月からバンカ島の錫産業における TENORM 廃棄物のインベントリと処分場に関する研究を行っている。錫産業には TENORM に関連する 4 つの活動、つまり採鉱、錫砂の選鉱、精錬、選鉱くず(尾鉱)の処理がある。採鉱中に生じる錫砂は高い放射能濃度を有するが、尾鉱の放射能は低い。採鉱で発生した錫砂は、砂中の錫濃度を高めるため選鉱される。この段階で、濃度 70%以上の錫砂と尾鉱が発生する。錫砂と尾鉱は高い放射能濃度を有する。錫砂は精錬され、錫とスラグに分かれる。スラグは高い放射能濃度を有するが、錫からは放射能は検出されない。選鉱中に発生した尾鉱は再処理され、ジルコン、イルメナイト及びモザナイトといった副産物を産出する。こうした副産物は高い放射能濃度を有する。これらの副産物産業は、錫産業から生じる環境問題の一部を解決したが、作業員の放射線防護の問題も存在している。精錬により発生したスラグについては処分に関する決定がされておらず、未だ問題となっている。我々は、スラグのインベントリ、埋め立て地の候補サイト、埋め立て地の設計及び埋め立て地の安全評価について研究を行っている。結果は全てのステークホルダーに周知される予定である。

e) 日本(日本原子力研究開発機構 橋本周氏)

東京電力福島第一原子力発電所事故後の大量の低レベル放射性廃棄物の取り扱いについて、JAEA のパンフレットに基づいて JAEA の活動が紹介される。低レベル放射性廃棄物の生成を低減するために、JAEA は、放射線モニタリングの経験、様々な現場及び物質の除染

の効果とコスト並びに地理データからデータベースを作成している。このデータベースは、「除染活動支援システム」(RESET: Restoration Support System for Environment)の中核である。これは、提案される除染方法の効果に関する評価を伴う、除染計画の支援システムである。分類方法、化学的処理又は熱処理を使用した、既存の低レベル放射性廃棄物の処分量の低減の開発についても紹介される。

f) カザフスタン(カザフスタン国立原子力センター エフゲニー・トゥール氏)

核実験場の閉鎖以来現在まで、カザフスタンは、国際科学コミュニティと協力して、STS(セミパラチンスク核実験場)及び近隣領域における現在の放射線状況に関する非常に広範な情報を蓄積している。この報告書では、放射線汚染された重要な地域を明らかにし、現在及び潜在的な放射性物質拡散の主要な経路とメカニズムを特定した。

放射線状況は安定したままというわけではない。STS の放射線状況の定期的なモニタリングを要する、放射性核種移動の過程が明らかになっている。

核実験場の規模及びそこで実施された様々な実験を考慮に入れると、STS に関して入手可能な情報は完全に網羅的なものであることはありえないが、その情報をもとに、我々は土地の修復と再生を目指したさらなる研究と実際の措置のために、科学的に根拠のある計画を提案することができる。そのような措置により、核実験場の大部分を商業利用に戻すことができるはずである。

STS の特定の区域は、現在及び観察可能な将来において、従来の商業活動には使用できない。同時に、これらの土地は、原子力サイクルの企業を招致するにあたって有利に使用することができる。カザフスタンでは特に、国内で蓄積された放射性廃棄物を処分する必要がある。したがって、STS において、放射性廃棄物の処理と長期貯蔵(処分)のための国の施設を設置することが妥当である。

g) マレーシア(マレーシア原子力庁 ノラサルワ・ビンティ・ザカリヤ氏)

国営放射性廃棄物管理センターは 30 年以上にわたって稼働しており、その設備の一部については、サービスと安全な運転条件を保つために大規模なメンテナンスが求められている。国際的慣行に基づいて、重要な施設では安全レベルが高められ、セキュリティ対策が課されている。したがって、第 10 回・第 11 回マレーシア開発計画(Malaysia Development Plan)のもとで、マレーシア原子力庁は、放射性廃棄物管理施設の安全とセキュリティのレベルを向上させ、増大する廃棄物管理の要求を満たすためのプログラムを実施した。このプログラム下のプロジェクトには、新規の中間貯蔵施設の建設、既存の中間貯蔵施設のアップグレード及び低レベル排水処理プラントのアップグレードが含まれる。これらの施設は、今後 30 年間、ダウンタイムなしに運転し、サービスを提供し続けることができることが期待される。

h) モンゴル(モンゴル原子力委員会 ウランチメグ・バットデルゲル氏)

このポスター発表の目的は以下の事項に焦点を当てることである。1) 原子力エネルギー改正法のもとで、2015 年の初めにモンゴル政府の原子委員会(NEC)が再設置された。NEC は、放射性鉱物の採鉱と原子力エネルギーの利用に関する国の方針を策定し実施する責任を有し、原子力の安全と放射線防護を確実にするための調整活動、安全とセキュリティ規則の策定と採用及び原子力施設の許認可に責任を有している。これに加えて、承認済みの国内基準、規則及びガイダンスについて述べる。2) 国家専門検査庁(GASI)は、主に放射線源及び



放射性鉍物の使用の管理と検査を中心とした責任を有している。3) 原子力エネルギー委員会のアイソトープ・センターは放射性廃棄物管理を行っており、モンゴル国内の放射線源及び放射性廃棄物の安全な貯蔵と、放射性物質の安全な輸送に責任を有する。

i) フィリピン(フィリピン原子力研究所 クリスティン・マリー・ダカロ・ロマロサ氏)

フィリピンは、PNRI の放射性廃棄物管理施設を通して、国内で生成された放射性廃棄物の安全な管理を継続している。IAEA 及び他の参加国との過去のプロジェクトから得られた経験に従って、取り組みの焦点は現在、カテゴリ3～5の使用済密封放射線源(DSRS)の管理に当てられている。2018年から現在まで、合計で87の装置が解体され、106が回収され、そのうち50がカプセルに封入された。廃棄物のインベントリはまた、IAEAの勧告に沿ったものになる。IAEAの放射性廃棄物管理登録(Radioactive Waste Management Registry)(RWMR 3.2 Web)を適用して、1981年から2018年までの合計1,783の廃棄物記録が成功裏にシステムに移された。特に、貯蔵用ドラムの容量を最大化するために、MCNPの計算を通したDSRSカプセルのドラム設計について、研究活動も実施された。しかし依然として多くの課題があり、したがって、様々な将来のプロジェクトが、特に、廃棄物処分プログラムの必要性に取り組むべく、開発中である

j) タイ(タイ原子力技術研究所 ウィッサヌ・ケイトケオ氏)

海港を通して出荷される貨物について、爆弾や武器の製造に使用可能な危険物を含まないスクリーニングされることが、世界のセキュリティにとって重要である。2005年、米国エネルギー省の国家核安全保障局(NNSA)は、タイの関税局と協力して、メガポート・イニシアティブ(MI)のもと、放射線ポータル・モニター及びアラーム通信システムを設置した。この放射線検出システムは、2007年に特殊核物質やその他の放射性物質のスキャンとスクリーニングを開始した。

この放射線検出システムが稼働して以来、多数の貨物コンテナを閉じ込めて、非常時対策を試験するために調査が行われた。線源の搜索と放射能汚染調査技術とともに放射線防護対策が、線源の安全な搜索への取り組みにおいて重要な役割を果たした。「平和利用のための原子力法」B.E.2559(2016年)に関して、発見された線源は放射性廃棄物として考慮に入れられる。したがって、発見された放射性廃棄物は閉じ込められ、ホットゾーンでさらなる詳細が調査された。放射性物質検出のための貨物コンテナ輸送のスキャンとスクリーニングが数回成功した。この業務による廃棄物の量は現在、タイにおける放射性廃棄物の重要な発生源であると考えられる。しかし、世界のセキュリティ、人及び環境の保護に役立ち、これを助けるという使命を達成するために、タイにおけるMIをサポートするためには、より厳しい規制管理と効果的な廃棄物管理戦略及び十分な設備が検討されるべきである。

l) ベトナム(放射性・希土類元素研究所 レ・チー・マイ・フォン氏)

赤泥はバイヤー(Bayer)技術を用いたアルミナ製造から生じる廃棄物であり、重大な環境汚染物質(NORM)であると考えられている。したがって、赤泥の再利用と放射線安全評価の研究が科学者らによって長く検討されている。この文書では、次のように、二次廃棄物を出さない閉ループでのベトナムの赤泥からの顔料及び凝固剤製造の包括的方法について述べる。赤泥は85°Cの3Mの硫酸中で2時間溶解され、溶液は分離されて凝固剤として使用される。固形残渣は洗浄されて、700°Cで2時間煅焼(かしょう)された後、顔料として使用された。こ

れは、鋼用の防錆塗料及び道路舗装用レンガのコーティング剤に入れる酸化鉄の代わりに使用することができる。同時に、放射線安全評価によって、塗料用顔料と廃水処理における凝固剤の適用可能性を評価した。塗料製造に用いる顔料は、均一に分布した 40~100 nm の中等度の粒径を有し、主成分は酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 約 52.4% で、せん断強度 160 kg.cm、粘着力 3.57 Mpa 及び優れた耐食性を持つ、アルキル防錆塗料に使用される。製品の品質は市販の家庭用塗料と同等である。廃水処理に用いる凝固剤は次のように非常に効果的である。特に、高い化学的酸素要求量 (COD) 成分を持つ廃水については、6746 mg/L から 687 mg/L (約 90%) に低減し、下水中のリン酸塩 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) については 56.09 mg/L から 21.00 mg/L (約 63%) に低減した。凝固剤は、European Group Elmich Appliances の Elmich 下水処理プラントで試験され、結果はベトナムの産業廃水基準を満たした。

## 2.5 原子力基盤強化分野

### 2.5.1 核セキュリティ・保障措置プロジェクト

#### 1) ワークショップ開催概要

- i) 期日:2019年11月26日(火)～28日(木)
- ii) 場所:フィリピン、マニラ
- iii) 主催:文部科学省(MEXT)、フィリピン原子力研究所(PNRI)
- iv) 参加者:バングラデシュ、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、タイ、ベトナムより各1名、フィリピン3名、日本9名、合計19名(添付資料2.7.2(p187)参照)
- v) 日程:添付資料2.7.3(p190)参照

初日には、フィリピンのコーディネーターであるフィリピン原子力研究所(PNRI)のルシル・アバッド氏及び日本コーディネーターである和田智明氏より開会挨拶があった。続いて、各国より2018年度ワークショップ以降の核セキュリティ・保障措置の実施、核セキュリティ文化の促進、核セキュリティ・保障措置分野における人材育成の取り組みについてカントリーレポートが発表された。次に、核鑑識のトレーニングについて発表と討議が行われた。

2日目には、はじめに追加議定書(AP)実施の良好事例とキャパシティ・ビルディングについて発表と円卓討議が行われた。次は特別講演のセッションで、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授の上坂充氏より、原子力分野における日本の人材育成の取り組みについて発表が行われた。続いて、フィリピンのプロジェクトリーダー(PL)であるPNRIのマリア・テレサ・サラビト氏より、フィリピンにおける放射線源のセキュリティについて発表が行われた。最後に、今後3年間(2020年度～2022年度)の活動について、日本のPLである日本核物理管理学会の千崎雅生氏より、ワークショップ前に参加各国に対して実施したアンケート調査結果のまとめが示され、討議が行われた。

最終日には、核鑑識に係る机上演習(Table Top Exercise:TTX)が実施され、また、テクニカルベジットとして、PNRIの研究炉、電子加速器照射施設を視察した。

#### 2) 各国発表概要

##### i) カントリーレポート

2018年度ワークショップ以降の核セキュリティ・保障措置の実施、核セキュリティ文化の促進、核セキュリティ・保障措置分野の人材育成の取り組みについて、以下のとおり報告された。

##### a) バングラデシュ(バングラデシュ原子力委員会 アビッド・イムティアズ氏)

- ① 計量管理報告と追加議定書(AP)申告をIAEAに適時提出している。2019年4月にバングラデシュ原子力委員会(BAEC)原子力研究所(AERE)及び2ヶ所の施設外の場所(LOF)に対し、IAEA査察官による通常査察が実施された。また、現在建設中のルプール原子力発電所の設計情報質問票(DIQ)をIAEAに提出した。
- ② IAEAの核セキュリティ統合支援計画(INSSP)の下で、2020年第1四半期にダッカで核セキュリティの構造に関する国家レベルの専門家ミッションを予定している。また、原子力発電所に関する対抗部隊として核セキュリティ部隊を編成中である(現在の対抗部隊はバングラデシュ陸軍が指揮している)。2018年9月にロシアとの協定書に署名し、ルプール原子力発電所の建設に関して2011年に締結した政府間協

定を改定した。そして、IAEA の共同研究プロジェクト (CRP) で、『バングラデシュの原子力施設等における安全文化、組織文化及びヒューマンパフォーマンスに影響し得る要因』をテーマとしたプロジェクトを進めている。

- ③ IAEA、米国エネルギー省 (DOE)、ロシアと協力し、核セキュリティ文化に関する国内・国際トレーニングコース、ワークショップ、会合に参加している。ポスター展示を通じて原子力安全・核セキュリティ文化の意識向上に取り組んでいる。また、原子力安全・核セキュリティ文化に関する IAEA の CRP に参加している。

b) インドネシア(インドネシア原子力庁 ハイラル氏)

- ① 物資収支区域 (MBA) 毎に通常査察 (事前検認 (Pre PIV) 及び AP、実在庫検認 (PIV)) が 2 回実施された。また、IAEA による補完的アクセスを 2 回、短期通告査察を 1 回受け入れた。2019 年にインドネシア原子力規制庁 (BAPETEN) が AP 申告用ソフトウェアの導入に関するワークショップを開催した。2018 年～2019 年に保障措置に関する数々のトレーニングを実施し、また計画している。
- ② IAEA 核セキュリティシリーズの「核物質及び原子力施設の物理的防護に関する核セキュリティ勧告」(INFCIRC/225/Rev.5) に適合させるため、BAPETEN の核物質防護規則を改定中である。BAPETEN、インドネシア原子力庁 (BATAN) 及びセキュリティ担当局は 2019 年、スルポン原子力研究センターにおいて、物理的防護システムの評価に係る机上演習を実施した。この他、核セキュリティに関する数々のトレーニングを実施し、また計画している。BATAN 長官規則及び BATAN 基準に基づき、BATAN は 2019 年に核セキュリティに関するリスク評価を実施した。BATAN と BAPETEN が 2019 年、米国 DOE の支援を受けてサイバーセキュリティに関するワークショップを開催した。また、2018 年に IAEA に INSSP を提出した。2019 年、BATAN がスルポンの核セキュリティ支援センター (NSSC) の下に核物質防護システム研究所を設立した。
- ③ BATAN の核セキュリティ文化評価センター (CSCA/BATAN) が 2018 年～2019 年にパサジュマ地区の放射線源施設の核セキュリティ文化に関する自己評価を実施した。そして、核セキュリティ文化に関する指針の作成を進めている。2018 年に大学に核セキュリティ文化に関するカリキュラム (インドネシア国防大学のプログラム) を設けた。また、研究炉における核セキュリティ文化の自己評価の経験を IAEA 加盟国と共有し、2018 年に核セキュリティ文化向上策に関する報告書を IAEA の CRP に提出した。

c) 日本(文部科学省 鈴木哲氏)

- ① 日本政府と IAEA が締結した保障措置協定に基づき、IAEA が前年に実施した保障措置活動について評価結果をとりまとめた「保障措置声明」の 2018 年版が 2019 年 6 月に公表され、初めて導出された 2003 年以降連続して、我が国にある全ての核物質が平和的活動にとどまっているとの評価(「拡大結論」)を得た。東京電力福島第一原子力発電所については、核物質が持ち出されないことを検認するための遠隔監視カメラや放射線モニタ設置等の追加的な保障措置方策を講じた。
- ② 関係規則の改正並びに告知及び運用ガイドの発行を行い、2019 年 3 月までに個人の信頼性確認制度が導入された。放射性同位元素等の規制に関する法律及び放射性同位元

素等の規制に関する法律の規制に関する法律施行規則が2019年9月に施行され、また、放射線源のセキュリティ対策のための枠組みが確立された。

- ③ 原子力規制委員会が原子力事業者の幹部を対象に核セキュリティ文化についての説明会と個別ヒアリングを行った。原子力事業者は、日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター (ISCN/JAEA) からの支援を受けて、核セキュリティ文化促進のための取り組みを続けている。

d) カザフスタン(カザフスタン国立原子力センター アレクサンドル・オシンチェフ氏)

- ① 2017年にIAEAの承認を得て国レベルの保障措置アプローチを導入した。また、大量破壊兵器(WMD)不拡散体制の強化に寄与するため、包括的核実験禁止条約(CTBT)の希ガスモニタリングステーションを設置した。研究炉の燃料を低濃縮ウラン燃料に転換した。
- ② IAEAが加盟国の原子力発電所の燃料供給を保証するためにカザフスタンに設置した低濃縮ウラン備蓄バンクに、2019年10月に最初の低濃縮ウランが搬入された。また、物理的防護システム(PPS)を最新化した。
- ③ 核セキュリティ文化の促進のため、核セキュリティの強化に向けて取り組みを続けている。

e) マレーシア(マレーシア原子力許認可委員会 ノライニ・ビンティ・ラザリ氏)

- ① 新原子力法案に保障措置に必要な基本的要件並びに核物質の計量管理、AP及び核兵器開発の禁止を含めた。マレーシアは2005年11月にAPに署名したが、まだ批准していない。また、IAEAとの間で包括的保障措置協定を結ぶ際に併せて締結した少量議定書(SQP)を2018年9月に廃止した。IAEAの国内計量管理制度レビューサービス(ISSAS)の事前レビュー会合が2018年9月に開催され、2019年2月25日～3月1日にレビューが実施された。
- ② マレーシアとIAEAの共催により、2018年8月にマレーシア、インドネシア、フィリピンで核セキュリティに関する三国間演習を実施した。マレーシア王立警察及びマレーシア関税局に対して核セキュリティ初動対応者向けのトレーニングを計12回実施した他、核セキュリティに関するトレーニングを数回実施した。オマーン、レバノン、ボツワナ、イランの高官による国家核セキュリティに関する技術視察を受け入れた。また、核セキュリティ計画指針(カテゴリ1、2、3の放射線源が対象)を2018年10月に作成した。そして、カナダの支援を受けて、2018年に核物質防護研究所が設立された。
- ③ クアラルンプールのアンパン病院における核セキュリティ文化の自己評価の経験をIAEA加盟国と共有し、核セキュリティ文化向上策に関する報告書をIAEAのCRPに提出した。2018年3月に、核セキュリティ文化の自己評価を支援するための専門家ミッションを実施した。また、マレーシアは英国のキングス・カレッジ・ロンドンの主導、ビジネス・エネルギー・産業戦略省の支援による核セキュリティ文化コンソーシアム及び核セキュリティ文化プログラムから支援を受けている。

f) モンゴル(モンゴル原子力委員会 ゲレルマー・ゴンボスレン氏)

- ① 2003年5月に署名したIAEAとの保障措置協定に基づいてAPに関する活動を継続しており、モンゴル原子力委員会がIAEAに対して年1回及び3ヶ月ごとの申告を行っている。2018年9月、モンゴル科学アカデミー中央地質研究所に対してIAEAの補完的アクセスが実施された。モンゴルは2019年、米国DOEの国際保障措置エンゲイジメントプロ

グラム(INSEP)に参加し、本プログラムの下で技術面のキャパシティ・ビルディングに取り組んだ。また、欧州連合(EU)プロジェクトの下で、核物質計量管理に関する規制案を作成した。

- ② 米国 DOE の協力で放射線測定ポータルモニター(RPMs)を新ウランバートル国際空港に設置し、また、国境警備に関するトレーナー研修を実施した。2018 年 7 月に米国と中国の共催で開催された、核物質密輸対策に関する地域ワークショップに出席した。
- ③ 2018 年 4 月にモンゴル原子力委員会事務局と米国 DOE の共催で、核セキュリティのための国際対応トレーニングコースを実施した。放射線利用施設における犯罪行為及び故意の違反行為の防止に関する演習を行い、モンゴル政府当局の知識と技能を向上した。2019 年 5 月に原子力施設の核セキュリティ計画に関するワークショップを開催した。また、IAEA の助言に基づき、モンゴルの法制度に即した原子力施設の核セキュリティ計画案を作成した。

g) フィリピン(フィリピン原子力研究所 マリア・テレサ・サラビト氏)

- ① 統合保障措置(IS)の適用により、今後 IAEA の査察回数が削減されることになる。セキュア通信で核物質計量管理報告を毎年 IAEA に提出している。また、AP に従い、IAEA に申告をこれから提出する。
- ② 2019 年 6 月に INSSP の見直しと改訂を行い、原子力を含めた。フィリピン警察、フィリピン軍、関税局と連携し、PNRI 保障措置・核セキュリティ課の下に核セキュリティ支援センターの設置を進めている。2019 年にマニラ首都圏で開催された大規模イベントに PNRI の専門家支援チームを配置し、2019 年 11 月にマニラで開催された第 30 回東南アジア競技大会に放射線検知器の貸し出しを行った。また、関係当局間の合意覚書が署名され、マニラ港に設置されている放射線ポータルモニターの維持管理が関税局に引き継がれることになり、PNRI が技術支援を行う。
- ③ 核セキュリティ文化向上のためのトレーニングの実施を続けている。また、核セキュリティ文化の認識を深めるための将来計画を立てている。

h) タイ(タイ原子力庁 アリーラク・ルエアンゴレン氏)

- ① 2017 年 11 月に AP を発効した。IAEA による補完的アクセスを 2018 年に 2 回、2019 年に 1 回受け入れた。2019 年 9 月に「拡大結論」に関する IAEA ワークショップが開催された。また、セキュア通信で AP に基づく申告と包括的保障措置協定に基づく報告を IAEA に提出した。
- ② 2018 年に INSSP が承認された。2019 年に「核物質の防護に関する条約」(核物質防護条約)及び改正版である「核物質の防護に関する条約の改正」(改正核物質防護条約)が発効された。核鑑識について 2019 年に IAEA と取り決めを結び、タイにおける核鑑識能力の向上を図っている。また、2018 年に放射性物質の輸送におけるセキュリティに関するトレーニングコース及び脅威評価と設計基礎脅威(DBT)に関する国内ワークショップ、2019 年に核セキュリティ情報管理システム(NUSIMS)に関する国内ワークショップを開催した。
- ③ 核セキュリティ文化に関するトレーニング、核セキュリティ文化促進のためのステークホルダーとのコミュニケーション、原子力平和利用法に基づく規則及び指針の改定を続けている

i) ベトナム(ベトナム放射線・原子力安全庁 カン・ベト・トアン氏)

- ① 包括的保障措置協定に基づき、IAEA に対して研究炉に関する 108 件の報告と LOF に関する 74 件の報告を提出した。2018 年に保障措置査察官の放射線安全に関するワークショップを開催した。
- ② 2018 年に放射線利用施設の核セキュリティに関する国際対応トレーニングコース(4 月)、放射線利用施設の核セキュリティ計画に関するワークショップ及びサイバーセキュリティに関するワークショップ(5 月)、危機管理計画に関するワークショップ及び原子力施設サイトの核セキュリティ計画に関するワークショップ(7 月)を開催した。また、2018 年 6 月に INSSP を改訂した。2019 年 5 月に放射線源のセキュリティに関する新たな規制を制定した。
- ③ 2016 年に原子力施設及び放射線利用施設において『核セキュリティの基盤と自己評価手法』プロジェクトを実施し、核セキュリティに対する考え方、核セキュリティの実施体制と管理体制、管理者の役割、核セキュリティ担当者の行動に関するアンケートを各施設に対して行った。

## ii) 核鑑識のトレーニング

日本より、ISCN/JAEA の主催で 2019 年 1 月に日本で開催された核鑑識に係る地域トレーニングコースの成果の報告が行われた。また、タイより、2020 年 5 月にタイで開催予定の核鑑識に関する実地演習(Hands-on Training Exercise)の概要について発表が行われ、トレーニングのカリキュラムや今後の進め方について意見交換を行った。

### a) 日本(日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター 木村祥紀氏)

FNCA 核セキュリティ・保障措置プロジェクトで、2017 年度に参加国に対して核鑑識実施能力整備に関するアンケートを実施した。本アンケートは参加国間で各国の核鑑識能力の現状を共有すること、及び FNCA の枠組みでの活動に対する各国のニーズを明らかにすることを目的に実施したものである。アンケートの結果、核鑑識に関する国家体制の構築、核鑑識分析ラボラトリの整備、核鑑識分析結果の解釈に関する能力が各国に共通するニーズであることから、2018 年度のワークショップにおいて、本プロジェクトの今後の活動として、核鑑識に関する TTX 及び核鑑識分析の実地演習が提案された。

この提案を受けて、2019 年 1 月に ISCN/JAEA の主催で核鑑識に係る地域トレーニングコースを ISCN/JAEA で実施し、FNCA 参加国を含む 12 ヶ国から 16 名が参加した。各国の規制当局の担当者のみでなく、警察や研究機関の分析担当者等、様々な分野・職種からの参加があった。本コースは講義、机上演習、ISCN/JAEA の核鑑識関連の設備見学で構成され、アンケートで抽出された参加各国の共通課題である、国の核鑑識対応体制の構築、核鑑識ラボラトリの整備、核鑑識分析結果の解釈に関する能力の向上に応じてコース内容を設定し、成功裏に終了した。なお、文部科学省の研究者育成事業で ISCN/JAEA が 2018 年 12 月～2019 年 2 月の 2 ヶ月間受け入れたタイ原子力庁(OAP)の研究者が、本コースの教材作成に貢献した。核鑑識分析の実地演習は、OAP と ISCN/JAEA が共同で 2020 年 5 月にタイで開催予定である。参加対象者及び関心を持っている国に案内が行き届くよう、各国への案内の仕方を今後更に検討したい。

b) タイ(タイ原子力庁 アリーラク・ルエアンゴレン氏)

タイは 2011 年より核鑑識に着手した。2013 年に EU の支援で核鑑識に関するプロジェクトを実施し、並行して、タイ王室の支援により核鑑識ラボラトリが設立された。2013 年より核鑑識に関する人材育成を進め、核鑑識のための分析機器を導入した。また、国内の核鑑識対応体制の整備のため、OAP が OAP 内部向けのトレーニング及び国内ネットワーク強化のための国内関係者向けのトレーニングを実施した。2016 年以降、現在に至るまで、タイは核鑑識のキャパシティ・ビルディングの維持向上を図っている。

OAP が ISCN/JAEA と共同で 2020 年 5 月に実施予定の核鑑識に係る地域トレーニングコースの準備を進めており、コースの構成は 2019 年 1 月に開催された地域トレーニングコースと同様に、「核鑑識の概要」、「犯罪現場への対応」「核鑑識ラボラトリ」「核鑑識の解釈」に関する講義、核鑑識分析の実地演習、参加者間での経験及び良好事例の共有、OAP の核鑑識関連の施設見学で構成することを検討している。

iii) AP 実施の良好事例とキャパシティ・ビルディング

カザフスタン、モンゴル、タイより、それぞれの国における AP 実施の良好事例について以下のとおり発表された。

a) カザフスタン(カザフスタン国立原子力センター アレクサンドル・オシンチェフ氏)

カザフスタンは 2007 年 5 月に AP を発効した。AP に基づく補完的なアクセスにおいて、IAEA 査察官が確認のために撮影した施設の画像が、企業秘密に触れるという理由で IAEA に渡されなかった問題が起こった。問題解決のため IAEA とカザフスタンは補完的なアクセスでの画像撮影の手続きを策定した。また、短期通告査察について、カザフスタンの祝日と重なったために IAEA が実施を取り消さなければならなかったことや、大寒波と交通網への影響で施設にたどり着けないかもしれないことをカザフスタン側が IAEA に申し出て中止になったことがあった。このため、良好事例として、カザフスタンの祝日カレンダーや予測される気象情報の提供が挙げられる。

b) モンゴル(モンゴル原子力委員会 ゲレルマー・ゴンボスレン氏)

モンゴル原子力委員会と国家専門検査庁(GASI)が保障措置を担当している。保障措置活動として、AP に基づく IAEA への情報提供及び補完的なアクセスの受け入れ、保障措置文書に関する品質保証の徹底、情報セキュリティ、モンゴルにおける保障措置査察官リストの管理、保障措置体制整備のためのサポートを実施している。IAEA への情報提供については、GASI が各施設からの AP 関連の情報収集、査察の実施及びモンゴル原子力委員会への AP 関連の情報の提供を行い、モンゴル原子力委員会は提供された全ての情報について不備等がないかをチェックして申告を作成し、IAEA へ提出している。また、IAEA の要求があれば追加の情報を提出している。

c) タイ(タイ原子力庁 アリーラク・ルエアンゴレン氏)

タイは 2017 年 11 月に AP を発効した。報告義務がある全ての情報の要求や原子力事業者等の AP に対する意識の向上、国内保障措置制度(SSAC)のための効果的なシステムの構築、スタッフの知識及びスキルの向上、要員の確保、トレーニング等の人材育成に取り組んでいる。AP 実施の良好事例としては、原子力事業者、規制当局及びその他機関の密接な連



携の維持、IAEA との安全かつ適時な通信のためのコミュニケーションツールの利用、IAEA への助言の要請、米国、日本、韓国との国際協力である。

以上の発表に続き、ISCN/JAEA のパペチュア・ロドリゲス氏より、AP の実施、特に輸出管理に対する体制や経験、課題等について、本ワークショップ前に参加国に対して行った調査の結果が報告された。各国の良好事例として、AP に基づく輸出管理のための国内体制の整備経験や関係省庁との連携・調整機能の構築、トレーニングや AP に対する意識啓発のためのワークショップやセミナーの開催経験等が報告された。今回の調査結果と 2018 年度に実施した調査結果を取りまとめた AP の良好事例集の作成のための次のステップとスケジュールについて合意され、次回ワークショップまでに最終版を発行することが決定された。また、IAEA の情報回覧文書 (Information Circular) として共有する可能性についても検討することとした。

#### iv) 特別講演

原子力分野における日本の人材育成の取り組み、フィリピンにおける放射線源のセキュリティについて、以下のとおり特別講演が行われた。

##### a) 原子力分野における日本の人材育成の取り組み (東京大学 上坂充氏)

2010 年 11 月に我が国の産学官の関係機関の相互協力に基づく「原子力人材育成ネットワーク」が設立した。本ネットワークは、原子力人材育成に関する情報の共有、原子力人材育成に関する国内協力及び国際協力の促進、効率的かつ効果的な原子力人材育成活動の推進、我が国全体で一体となった原子力人材育成体制の構築を目的としている。

本ネットワークに「初等中等教育分科会」、「高等教育分科会」、「国内人材の国際化分科会」、「海外人材育成分科会」を設置し、それぞれ、小学生・中学生・高校生の原子力に対する関心の促進、学生の原子力工学分野への志向の促進、IAEA との共催による原子力エネルギーマネジメントスクールの実施、新規原子力導入国の若手の人材を対象とした人材育成活動の実施・支援等に取り組んでいる。

##### b) フィリピンにおける放射線源のセキュリティ (フィリピン原子力研究所 マリア・テレサ・サラビト氏)

自国が、ひいては世界的に核テロリズムに対抗していくためには、適切で有効な核セキュリティ体制を構築することが重要である。

2007 年にマニラ港のターミナルオペレーター及びセブ港の港湾局にポータルモニターが設置された。また、2014 年にフィリピン警察が移動式検出システムを導入した。フィリピンは核セキュリティに対抗するためのグローバル・イニシアチブ (GICNT)、大量破壊兵器及び物質の拡散に対するグローバルパートナーシップ並びに核セキュリティサミットに積極的に協力している。また、国家安全保障会議、フィリピン警察、フィリピン国防軍 (フィリピン陸軍、フィリピン空軍)、関税局、国立沿岸監視センター及び港湾局 (マニラ、セブ) 等の関係機関が一体となって大規模イベントに対応している。各施設が核セキュリティに対する認識の向上を続けていくことで、核セキュリティ文化を向上させることが必要である。

#### v) 今後 3 年間 (2020 年度～2022 年度) の活動計画

千崎氏より、本ワークショップの前に参加各国に対して実施した今後 3 年間 (2020 年度～2022 年度) の計画に関するアンケート調査の結果が示され、以下の活動案が挙げられた。

a) 核セキュリティ

核鑑識、サイバーセキュリティ、内部脅威、核セキュリティ文化、放射線源及び放射性物質の輸送セキュリティ

b) 保障措置

AP、保障措置の実施(少量の核燃料物質等)、その他

c) 核セキュリティ・保障措置共通

- ① 中核的拠点(COE)の下のカンパシティ・ビルディング(人材育成等)、要員計画、要員のカンパシティ・ビルディングに特化した人材育成計画の策定、保障措置査察官のトレーニング(包括的保障措置協定、AP)、核セキュリティ向上のための指導者のトレーニング(サイバーセキュリティ、放射線源の輸送、核セキュリティ文化)
- ② 原子力安全と核セキュリティのインターフェース
- ③ 最新技術及びデジタル時代(人工知能(AI)、ソーシャルネットワーキング、ビッグデータ等)

d) IAEA、APSN 等の国際機関との協力を含め、ワークショップ開催国の個別の要望に応じた公開セミナー

e) 我が国の関係省庁、FNCA 参加国の関係省庁及び国際機関(IAEA 等)からの支援及び協力

### 3) 核鑑識に係る机上訓練(TTX)

ISCN/JAEA が開発した核鑑識をテーマにしたシナリオを用いて、ISCN/JAEA の直井洋介氏、野呂尚子氏が進行を務め、机上訓練(TTX)が実施された。本ワークショップの出席者の他、PNRI 保障措置・核セキュリティ課スタッフとフィリピン警察 CBRNE(化学(chemical)、生物(biological)、放射性物質(radiological)、核(nuclear)、爆発物(explosive))特殊部隊の隊員が参加した。

仮定の国がシナリオの舞台で、テロリストグループが CBRN を使ったソフトターゲットへのテロを計画しているとの情報があり、また、隣国から、放射性物質を輸送していた車が襲われて放射性物質が盗まれたとの報告が入る。この報告から 5 日後に、陸上の国境警備を行っていた警備隊の携帯型の放射線検知器の警報が鳴り、不審車両からセシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) が発見される。さらに、その数日後に首都のホテルで長時間駐車している不審な車が見つかり、車からプラスチック製の容器に入ったウランが見つかる。このようなシナリオを進めながら、国境で放射性物質が不法に持ち込まれたという情報を誰に連絡すべきか、放射性物質の測定や扱いに関して技術的な支援を行う機関はあるか、規制管理外で放射性物質や核物質が発見された時の国の対応手順は決められているか、核鑑識を行う機関はあるかなどの議論を進め、参加各国の状況についても意見交換を行った。PNRI が実際に使う放射線測定器や核種を同定するための測定器、線源等を準備し、実際の検知・測定のデモンストレーションを行いながら進めることができ、また、フィリピン警察の参加によって、実際の経験に基づく発言等がなされ、有意義な TTX となった。

#### 4) ワークショップのまとめ

- i) 現フェーズ(2017 年度～2019 年度)の活動計画に基づき、核鑑識、放射線源のセキュリティ、AP の良好事例をテーマに取り上げて、参加各国における取り組みの情報共有や参加国間の今後の協力活動についての意見交換を行った。
- ii) 核鑑識に関する机上訓練(TTX)での議論を通じて、核鑑識能力構築のために必要な国内体制や関係機関間の連携の在り方について参加国間で共有された。
- iii) 今後 3 年間(2020 年度～2021 年度)の活動について、現フェーズで取り上げてきた核鑑識、サイバーセキュリティ、放射線源のセキュリティ、追加議定書(AP)等のトピックスは参加各国にとっていずれも重要であり、その時々に応じたニーズも勘案して今後のテーマを決めていくことが合意された。

## 第 3 章

### 「情報の普及」

## 第3章 情報の普及

### 3.1 ニュースレターの発行

FNCA 活動における国際会合及び国内会合等の開催を通して得られた成果について、各プロジェクト活動を総括し、写真などを挿入して分かりやすくまとめ、ニュースレターとして発行した。

- 1) 和文「FNCA ニュースレター」29 号(通算)を 2020 年 3 月に発行
- 2) 英文「FNCA ニュースレター」23 号(通算)を 2020 年 3 月に発行

放射線利用技術や原子力基盤技術の普及を図るため、これらのニュースレターを立地地域等や国内外の関係者へ配布した。送付先一覧は別添 3(p193)を参照。

主な掲載内容は以下のとおりである。

i ) FNCA ニュースレター 29 号(和文、2020 年 3 月)

- a) FNCA 大臣級会合を東京で開催
- b) FNCA 参加国の原子力政策最新動向
- c) 特集 1 気候変動科学プロジェクト
- d) 特集 2 放射線育種プロジェクト
- e) 3 年間の活動成果
- f) プロジェクト活動紹介
- g) FNCA 賞 2019
- h) 2019 年度の FNCA 活動実績
- i) 第 20 回コーディネーター会合
- j) 2019 スタディパネル
- k) What's FNCA?

ii ) FNCA Newsletter No. 23(英文、2020 年 3 月)

- a) FNCA Ministerial Level Meeting held in Tokyo
- b) Latest Trends of Nuclear Energy Policy in FNCA Countries
- c) Special Topic 1 – Climate Change Science Project
- d) Special Topic 2 – Mutation Breeding Project
- e) Result of Activities in 3 years
- f) Introduction of Ongoing 7 Projects
- g) FNCA Award 2019
- h) FNCA Activities in JFY 2019
- i) The 20th Coordinators Meeting
- j) 2019 Study Panel
- k) What's FNCA?

### 3.2 ウェブサイトの運営

FNCA ウェブサイト ( URL : 和 文 版 <https://www.fnca.mext.go.jp/index.html> 、 英 文 版 <https://www.fnca.mext.go.jp/english/index.html> ) において、各プロジェクトの活動報告などの情報を提供し、常時広く国内外に発信した。本ウェブサイトにおける情報の更新を、以下のとおり行った。

更新箇所	更新事項
コーディネーター紹介	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コーディネーター <ul style="list-style-type: none"> <li>- オーストラリア</li> <li>- バングラデシュ</li> <li>- 中国</li> <li>- マレーシア</li> <li>- タイ</li> </ul> </li> </ul>
放射線育種プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> <li>・ プロジェクトリーダー <ul style="list-style-type: none"> <li>- 日本</li> <li>- ベトナム</li> </ul> </li> <li>・ プロジェクトリーダーメッセージ(日本)</li> </ul>
放射線加工・高分子改質プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> <li>・ プロジェクトリーダー <ul style="list-style-type: none"> <li>- インドネシア</li> <li>- ベトナム</li> </ul> </li> </ul>
気候変動科学プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> </ul>
放射線治療プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> <li>・ プロジェクトリーダー <ul style="list-style-type: none"> <li>- フィリピン(所属先追加)</li> <li>- ベトナム</li> </ul> </li> <li>・ 活動成果更新</li> </ul>
研究炉利用プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> <li>・ プロジェクトリーダー <ul style="list-style-type: none"> <li>- マレーシア</li> <li>- ベトナム</li> </ul> </li> </ul>
放射線安全・廃棄物管理プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> <li>・ プロジェクトリーダー <ul style="list-style-type: none"> <li>- インドネシア</li> <li>- マレーシア</li> <li>- ベトナム</li> </ul> </li> <li>・ 統合化報告書(中間報告)掲載</li> </ul>
核セキュリティ・保障措置プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019年度ワークショップ報告</li> </ul>
FNCA ニュースレター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ トップページ更新</li> </ul>

更新箇所	更新事項
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FNCAニュースレターNo.29(日本語版)掲載</li> <li>・ FNCA Newsletter No.23(英語版)掲載</li> </ul>
内閣府主催会合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018年度第20回コーディネーター会合及びスタディ・パネル報告</li> <li>・ 2019年度上級行政官会合報告</li> <li>・ 2019年度第20回大臣級会合報告</li> </ul>

なお 2019 年 4 月から 2020 年 3 月までのトップページへのアクセス数は、和文サイト 3,074 件、英文サイト 2,075 件であった。

FNCA ウェブサイトによる情報発信の成果を測定するため、本年度(2019 年 4 月～2020 年 3 月)のアクセス解析を実施した。FNCA ウェブサイトへの年間の訪問傾向は、新規訪問数が 6 月から 7 月にかけて増加し、FNCA 会合やプロジェクトワークショップが順次開催された 7 月以降は一定数の訪問があった。リピート訪問数は年間を通して大きな増減傾向はみられないが、リピーターの割合は減っていないため、総じて訪問傾向は安定しており、現状維持ができています。ユーザー数も大きな変動はなく、毎月、一定数の訪問者があった。ただし、1 回の訪問あたりの閲覧ページ数は 2018 年度よりも多少、減少傾向にあった。これは、見るものが決まっていて、必要なページのみ見て離脱しているためとも考えられる。

国別では、最も訪問数が多いのは日本で、次に米国、FNCA 参加国(上位はインドネシア、マレーシア、フィリピン、ベトナム)が続いている。ベトナムとカザフスタンは 1 回の訪問で閲覧したページ数が他の国に比して多く、その分野に非常にある閲覧者が訪問の中心と想定できる。モンゴルとベトナムは新規訪問よりもリピート訪問の割合が多い。

流入元(訪問者がどこからサイトへ来たのかを表すもの)をみると、URL を直接入力した場合やブックマークからサイトに訪問した場合等の流入元不明のダイレクト訪問が全体の 50%以上を占め、あとは検索からの訪問と他サイトからの訪問が占める。検索からの訪問及び他サイトからの訪問は、1 回の訪問あたりのページ閲覧数が高い傾向にあり、多くのページを見ていて関心が高いと言える。

サイト全体では、日本語ページ、英語ページとも、基本的にまずはトップページに流入してくる傾向にある。年間を通して閲覧数が上位にあるのはトップページ、FNCA プロジェクトページ、大臣級会合のページである。新規訪問、リピート訪問に注目すると、いずれも閲覧数の上位はトップページ、FNCA 概要ページ、FNCA プロジェクトページだが、リピート訪問は放射線育種プロジェクトのページも上位に入っている。なお、FNCA 会合やプロジェクトワークショップ開催の後には、そのページの閲覧数が増加する傾向にある。プロジェクト別の閲覧数は、ワークショップの開催時期に関わらず、日本語ページ、英語ページとも放射線育種、放射線加工・高分子改質、放射線治療が上位で、放射線利用開発分野プロジェクトに比較関心が高いことがうかがえる。

FNCA ニュースレターやプロジェクト成果物(マニュアル、ガイドライン、報告書)等の PDF のダウンロードは日本が最も多く、次いでマレーシア、ベトナムである。ダウンロード数は日本語ページ、英語ページとも FNCA ニュースレターが最も多い。また、英語ページでは放射線安全・廃棄物管理プロジェクトニュースレター、放射線育種プロジェクトのイネ品質改良育種成果書が上位に入っている。FNCA ウェブサイトがどのようなキーワードで検索されているかを見ると、「FNCA」が最も多いが、プロジェクト成果物の PDF の

キーワードと組み合わせた検索が多い傾向にある。プロジェクト成果物はウェブサイトにはアクセスせず検索結果から直接見られている傾向が多く、また、検索順位が低いをクリック率が高いキーワードが多い。熱心にその情報を探しているユーザーが多いことが想定される。

## FNCA ウェブサイト トップページ（上:和文版、下:英文版）

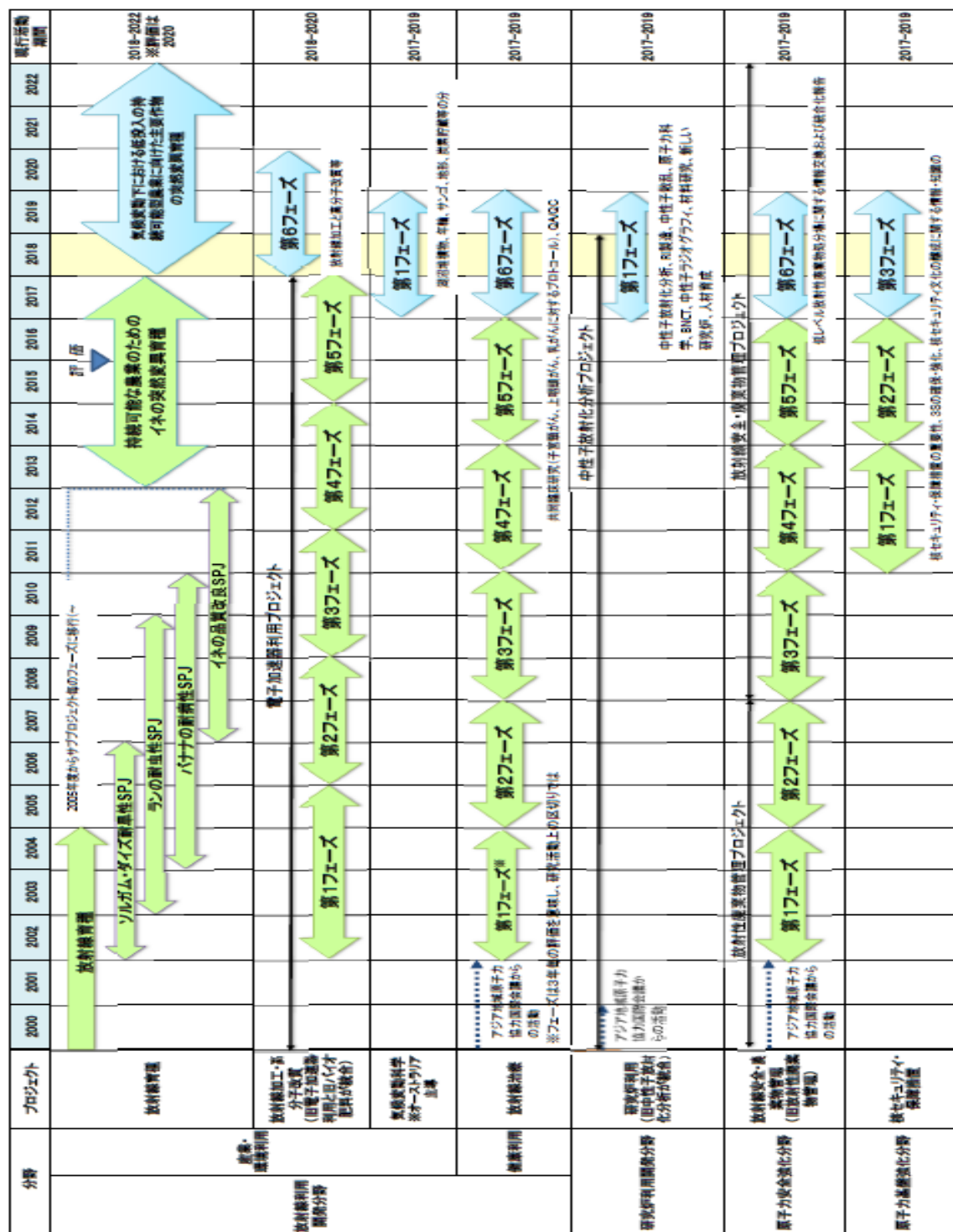
The Japanese version of the FNCA website features a blue header with the FNCA logo and navigation links. The main content area includes a large banner with the FNCA logo, a section titled 'アジア原子力協力フォーラム（FNCA）とは' (What is FNCA), and a 'what's new' section listing recent events. A sidebar on the right titled 'FNCAの枠組み' (FNCA Framework) shows the organizational structure with boxes for '大臣級会合' (Ministerial Meeting), 'コーディネーター' (Coordinator), and 'プロジェクト' (Project).

The English version of the FNCA website has a similar layout to the Japanese version. It includes a blue header with the FNCA logo and navigation links. The main content area features a large banner with the FNCA logo, a section titled 'About FNCA', and a 'what's new' section. A sidebar on the right titled 'The FNCA Framework' illustrates the organizational structure with boxes for 'FNCA Meeting', 'Coordinators', and 'Project'.



添付資料

# 1. FNCA 現行 7 プロジェクト活動経緯



## 2. 国際会合関連資料

### 2.1 放射線育種(MB)プロジェクト国際会合

#### 2.1.1 MB 議事録

## Minutes of FNCA 2019 Workshop on Mutation Breeding Project

September 3<sup>rd</sup> – 6<sup>th</sup>, 2019  
Bandar Baru Bangi & Bangi, Malaysia

### 1) Outline of the workshop

<b>i) Date</b>	September 3 <sup>rd</sup> - 6 <sup>th</sup> , 2019
<b>ii) Venue</b>	Bangi Resort Hotel, Bandar Baru Bangi and Malaysian Nuclear Agency, Bangi, 43000 Selangor Malaysia
<b>iii) Host</b>	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT) Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
<b>iv) Participants</b>	A total of 15 participants from 9 countries, i.e. Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Malaysia, Mongolia, The Philippines, Thailand and Vietnam ( <b>Annex 2</b> )
<b>v) Program</b>	<b>Annex 1</b>

### **Opening Session**

Dr. Zulkifli Bin Mohamed Hashim, Deputy Director General of Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia) and Dr. Abdul Rahim Harun, Director of Agrotechnology and Biosciences Division delivered welcoming remarks. Then Dr. Namba Hideki, FNCA Advisor of Japan gave an opening speech.

### **Overview Lectures**

Dr. Namba reviewed FNCA activities in 2018-2019 and major success results achieved. Dr. Hase Yoshihiro, FNCA Mutation Breeding Project Leader of Japan briefly described major outcomes of the FNCA Mutation Breeding Project and the major issues to be discussed in the workshop.

### **Session 1 Follow-up on Sub-project on Sorghum and Soybean**

Dr. Arwin from Indonesia presented about mutation breeding for anticipation of climate change. Two drought tolerant soybean lines were released as new varieties named Kemuning-1 and Kemuning-2 in 2019. Including these two varieties, Indonesia has released twelve mutant soybean varieties so far. Some advanced lines for leaf rust tolerance, pod sucking pest tolerance, early maturing less than 75 days and super early maturing less than 70 days are in multiplication trial. Some advanced lines were also selected for crop rotation with rice without fertilizer and irrigation.

### **Open Seminar**

In the afternoon of September 3, open seminar on “Application of Radiation Technology and Mutation Breeding for Sustainable Agriculture” was held with 45 participants from universities, research institutes and private companies. Firstly, a short video on success story of mutation breeding in Malaysia was presented. Prof. Shu Qingyao, Zhejiang University, China talked on the generation and evaluation of *OsNramp5* mutants by targeted mutagenesis for breeding low cadmium rice. Dr. Morishita Toshikazu, National Agriculture and Food Research Organization (NARO), Japan presented an overview and outcomes of mutation breeding at Radiation Breeding Division of NARO. Mr. Arwin discussed on the soybean breeding using nuclear technique for anticipation of climate change in Indonesia. Dr. ANK Mamun Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC) reported on the research activities of plant biotechnology in BAEC. Mr. Fernando B. Aurigue, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI) introduced an achievement of mutation breeding activity at the Philippine Rice Research Institute (PhilRice).

## **Session 2 Country Report on Mutation Breeding of Major Crops for Low-input Sustainable Agriculture under Climate Change**

Nine member countries presented progress and activity plan on the Mutation Breeding of Major Crops for Low-input Sustainable Agriculture under Climate Change.

## **Session 3 Round Table Discussion for Mutation Breeding of Major Crops for Low-input Sustainable Agriculture under Climate Change**

Dr. Hase gave a lead speech and emphasized that the adaptability to low input condition is the major target. After discussion along with the points raised by Dr. Hase, the participants confirmed the followings.

1. All member countries are working towards sustainable agriculture with low input of chemical fertilizer and pesticide, etc.
2. Improvement of nitrogen use efficiency is one of the major targets that we need to focus on to breed high-yielding mutant varieties in the future.
3. Root system is an important trait to consider for high yield under low input condition.
4. Mutants obtained in this project are precious resources for identifying useful genes to breed elite varieties in the future.
5. The combined use of mutant varieties and optimized cultivation methods, e.g. minimal use of chemical fertilizers and pesticides, and increasing application of organic fertilizer, is a way to achieve sustainable agriculture.

## **Session 4 Cooperation with IAEA/RCA**

Dr. Namba reported on the ongoing interaction between FNCA and IAEA/RCA at the administrative level. It has been agreed that FNCA and IAEA/RCA would continue the cooperation at project level. FNCA Mutation Breeding Project has been cooperating with IAEA/RCA projects on mutation breeding. Dr. Morishita reported on the recent RAS5077 meeting on assessing nutrient use efficiency organized by IAEA/RCA held in August 2019 in Beijing. Some member countries are contributing to both FNCA and IAEA/RCA projects.

## **Minutes and Closing Session**

The minutes were discussed and agreed by all participants. It will be reported to the 21st Coordinators Meeting to be held in March 2020 in Japan. Dr. Kanchana Klakhaeng, Thailand introduced that next workshop will be hosted by Thailand in August 2020. Dr. Harun and Dr. Namba delivered closing remarks and thanked all participants for their efforts and contribution.

## **2) Technical Visit**

Participants visited a seed company and rice fields in Tanjung Karang and Sekinchan, Selangor on September 5. Haji MD Nor bin Haji Abd. Rahman (M) Sdn. Bhd. (HMN), Integrated Agricultural Development Area (IADA) and Bayer Co. (M). Sdn. Bhd., global life science company delivered remarks and introduced brief profiles. Then participants observed certified rice seed factory of HMN and rice field for NMR152 which is a mutant variety developed by Nuclear Malaysia. They recognized that Nuclear Malaysia has a good linkage with other governmental authorities, seed companies and farmers. They also visited international flower festival in Putrajaya.

## 2.1.2 MB 参加者リスト

### **List of Participants** **FNCA 2019 Workshop on Mutation Breeding Project**

September 3<sup>rd</sup> – 6<sup>th</sup>, 2019  
Bandar Baru Bangi & Bangi, Malaysia

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Position and Organization</b>
Bangladesh (PL)	Dr. ANK Mamun	Chief Scientific Officer and Head Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
China (PL)	Prof. Shu Qingyao	Professor Zhejiang University
Indonesia	Mr. Arwin	Soybean Researcher Center for Application of Isotopes and Radiation National Nuclear Energy Agency, Indonesia (BATAN)
Japan (Advisor)	Dr. Namba Hideki	FNCA Advisor of Japan, QST Associate National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
Japan (PL)	Dr. Hase Yoshihiro	Senior Principal Researcher Department of Radiation-Applied Biology Research Takasaki Advanced Radiation Research Institute Quantum Beam Science Research Directorate National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
Japan	Dr. Morishita Toshikazu	Director Radiation Breeding Division Institute of Crop Science National Agriculture and Food Research Organization (NARO)

Country	Name	Position and Organization
Japan (Secretariat)	Ms. Koike Aki	International Affairs and Research Department Nuclear Safety Research Association (NSRA)
Malaysia	Dr. Abdul Rahim Harun	Director Agrotechnology and Biosciences Division Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
Malaysia (PL)	Dr. Sobri Bin Hussein	Senior Research Officer Agrotechnology and Biosciences Division Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
Malaysia	Mr. Mustapha Akil	Staff Agrotechnology and Biosciences Division Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
Malaysia	Mr. Faiz Ahmad	Staff Agrotechnology and Biosciences Division Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
Mongolia	Ms. Ariungerel Mandakh	Researcher Plant Breeding Division Institute of Plant and Agricultural Science (IPAS)
The Philippines (PL)	Mr. Fernando B. Aurigue	Senior Science Research Specialist (Scientist 1) Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)
Thailand (PL)	Dr. Kanchana Klakhaeng	Expert on Rice Breeding Rice Department
Vietnam (PL)	Dr. Le Duc Thao	Deputy Director Agricultural Genetics Institute (AGI)

## 2.1.3 MB プログラム

### **Program of FNCA 2019 Workshop on Mutation Breeding Project**

September 3<sup>rd</sup> – 6<sup>th</sup>, 2019  
Bandar Baru Bangi & Bangi, Malaysia

#### **Tuesday, September 3<sup>rd</sup>, 2019 (Day 1<sup>st</sup>)**

**08:30 - 09:00    Registration**

**09:00 - 10:30    Opening Session**

Chair: Dr. Sobri Bin HUSSEIN, Malaysia

##### **1. Welcoming Remarks**

- 1) Dr. Abdul Muin Bin ABDUL RAHMAN, FNCA Coordinator of Malaysia
- 2) Dr. NAMBA Hideki, FNCA Advisor of Japan

##### **2. Opening Speech - Director General Malaysian Nuclear Agency**

##### **3. Overview Lectures**

- 1) Overview and progress of FNCA activities in 2018-2019  
Dr. NAMBA Hideki, FNCA Advisor of Japan
- 2) Outline of FNCA Mutation Breeding Project and purpose of the workshop  
Dr. HASE Yoshihiro, FNCA Mutation Breeding Project Leader (PL) of Japan

##### **4. Introduction of Participants**

##### **5. Confirmation of Agenda**

**10:30 - 10:45    Group Photo and Coffee Break**

**10:45 - 11:30    Session 1   Follow up of Sub-projects on Sorghum and Soybean**

Chair: Dr. ANK MAMUN, Bangladesh

1. Report  
Indonesia
2. Summary

**11:30 - 13:00    Lunch Break**

### **Open Seminar on Application of Radiation Technology and Mutation Breeding for Sustainable Agriculture**

Chair: Dr. Sobri Bin HUSSEIN, Malaysia

13:45 - 14:10    Registration & Opening Remark – Dr. Abdul Rahim HARUN

14:10 – 14:15    Short Video Presentation : Success story on rice mutation breeding in Malaysia

14:15 - 14:45    Generation and evaluation of OsNramp5 mutants by targeted mutagenesis for breeding low  
Cadmium rice  
Prof. SHU Qingyao, ZJU, China



- 14:45 - 15:15 Mutation breeding at Radiation Breeding Division  
Dr. MORISHITA Toshikazu, NARO, Japan
- 15:15 - 15:45 Soybean Breeding Using Nuclear Technique for Anticipation of Climate Change in Indonesia  
Mr. Arwin, BATAN, Indonesia
- 15:45 - 16:00 Coffee Break**
- 16:00 - 16:30 Research Activities of Plant Biotechnology in Bangladesh Atomic Energy Commission – an Overview  
Dr. ANK MAMUN, BAEC, Bangladesh
- 16:30 - 17:00 An Overview of Mutation Breeding at the Philippine Rice Research Institute  
Mr. Fernando B. AURIGUE, PNRI, the Philippines

**Wednesday, September 4<sup>th</sup>, 2019 (Day 2<sup>nd</sup>)**

**09:00 - 10:45 Session 2 Report for Mutation Breeding of Major Crops for Low-input Sustainable Agriculture under Climate Change**

Chair: Dr. LE Duc Thao, Vietnam

1. Bangladesh
2. China
3. Indonesia

**10:45 - 11:00 Coffee Break**

**11:00 - 12:10 Cont. of Session 2**

Chair: Dr. Kanchana KLAHAENG, Thailand

4. Japan (Dr. HASE Yoshihiro)
5. Malaysia

**12:10 - 13:30 Lunch Break**

**13:30 - 15:15 Cont. of Session 2**

Chair: Mr. Arwin, Indonesia

6. Mongolia
7. The Philippines
8. Thailand

**15:15 - 15:30 Coffee Break**

**15:30 - 16:05 Cont. of Session 2**

Chair: Ms Ariungerel MANDAKH, Mongolia

9. Vietnam

**Thursday, September 5<sup>th</sup>, 2019 (Day 3<sup>rd</sup>)**

**Technical visit to Rice Field, Tanjung Karang / Sekinchan, Selangor  
and HMI Sdn. Bhd. Seed Company**

**Friday, September 6<sup>th</sup> 2019 (Day 4<sup>th</sup>)**

**09:00 - 10:30    Session 3    Round Table Discussion for Mutation Breeding of Major Crops for Low-input Sustainable Agriculture under Climate Change**

Chair : Dr. MORISHITA Toshikazu, Japan

1. Lead speech

Dr. HASE Yoshihiro, FNCA Mutation Breeding PL of Japan

2. Discussion

3. Summary

**10:30 - 10:45    Coffee Break**

**10:45 - 12:00    Session 4    Cooperation with IAEA/RCA**

Chair: Prof. SHU Qingyao, China

1. Report

Dr. NAMBA Hideki, FNCA Advisor of Japan

2. Report

Dr. MORISHITA Toshikazu, NARO, Japan

3. Discussion

**12:00 - 14:00    Lunch Break**

**14:00 - 16:00    Session 5    Minutes**

Chair: Mr. Fernando B. AURIGUE, the Philippines

1. Wrap up of minutes

2. Adoption of Minutes

**16:00 - 16:30    Closing Session**

Chair: Dr. Sobri Bin HUSSEIN, Malaysia

1. Closing Remarks

1) Dr. Abdul Rahim HARUN, Nuclear Malaysia, Malaysia

2) Dr. NAMBA Hideki, FNCA Advisor of Japan

## 2.2 放射線加工・高分子改質 (RPPM) プロジェクト国際会合

### 2.2.1 RPPM 議事録

#### **Minutes of FNCA 2019 Workshop on Radiation Processing and Polymer Modification Project**

September 3<sup>rd</sup> – 7<sup>th</sup>, 2019

Yogyakarta, Indonesia

#### **1) Outline of Workshop**

<b>i) Date</b>	September 3 <sup>rd</sup> – 7 <sup>th</sup> , 2019
<b>ii) Venue</b>	Royal Ambarrukmo Yogyakarta
<b>iii) Host Organisation</b>	National Nuclear Energy Agency (BATAN) of Indonesia Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT)
<b>iv) Participants</b>	Twenty four (24) participants from ten (10) FNCA member countries: Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, The Philippines, Thailand and Vietnam. Listed in <b>Annex 2</b> .
<b>v) Programme</b>	<b>Annex 1</b>

The FNCA 2019 Workshop on Radiation Processing and Polymer Modification (RPPM) was held from 3<sup>rd</sup> to 7<sup>th</sup> September 2019, at Royal Ambarrukmo Yogyakarta. The workshop was jointly organised by the BATAN of Indonesia and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan.

Twenty four (24) representatives involved in radiation processing and polymer modification from 10 FNCA member countries attended the workshop, namely Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, Philippines, Thailand and Vietnam. The program of the workshop is attached as **Annex 1**. The list of participants is attached in **Annex 2**.

#### **Session 1: Opening**

Dr Hendig Winarno, FNCA Coordinator of Indonesia and Deputy Chairman of BATAN for Nuclear Technology Utilization, Mr Wada Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan and Edy Giri Rachman Putra PhD, Acting Director of Science and Technology Accelerator, Director of Polytechnic of Nuclear Technology and NEXPO Coordinator gave opening remarks.

#### **Session 2: Overview and Achievements of FNCA Projects**

Mr Wada reported the overview and achievements of the seven FNCA projects in 2018 and 2019. He reported that the Ministerial Level Meeting 2018 encouraged the member countries to bring the R&D products of radiation processing and polymer modification to the end-users including the private sector.

### **Session 3: Progress Report on Biofertilizer**

Eight (8) progress reports on the current activities of Biofertilizer were presented. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session 4: Progress Report on Polymer Modification**

Ten (10) country reports were presented on the progress of current research on radiation processing and polymer modification. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session 5: Discussion on Achievements, Obstacles and Planning**

The participants were divided into seven groups based on their research themes, namely “Degraded Chitosan for Animal Feeds”, “Hydrogel for Medical Application”, “Environmental Remediation”, “Synergistic Effect of Plant Growth Promoters (PGP), Super Water Absorbents (SWA) and Biofertilizer (BF)”, “PGP and SWA, Inclusive of Process Development”, “PGP and SWA, Inclusive of Process Development” and “Sterilization of BF Carrier Using Gamma Irradiation”.

### **Session 6: Presentation on Achievements, Obstacles and Planning**

Each group reported the results of discussion. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session 7: Summary**

Draft summary will be reviewed by the participants and approved by Monday 30 September.

### **Session 10: Closing**

Edy Giri Rachman Putra PhD and Dr Shin Okazaki gave closing remarks.

### **Technical Visit (5th September)**

The participants visited two villages in Kulon Progo district where BATAN is conducting field experiment of oligochitosan (“Fitosan”) and biofertilizer (“IMR”) on 5th September. In Gerbosari village, Samigaluh sub district, oligochitosan is applied on Chrysanthemum. The application of oligochitosan on Chrysanthemum affect the height of plant which is much taller compared to control. The flowers have not bloomed yet. The expected harvest time is one month later. Furthermore, the plant is healthier reflected by the color of leaves that look greener without any diseases compared to control that have some spots of mold on the leaves. The Chrysanthemum will be exported to Japan next year. In Gotaan village, also in Samigaluh sub district, oligochitosan and biofertilizer are applied on onion and chili plants. The plants treated by oligochitosan and biofertilizer have much more tuber than control. In the both fields, 100 ppm oligochitosan is foliar sprayed every two weeks.

### **Open Seminar (6th September)**

Indonesia Nuclear Expo 2019 was held from 2nd to 6th 7th September at Royal Ambarrukmo Yogyakarta with approximately 600 participants (514 presenters & observers, and 86 exhibitors). FNCA participants joined the symposium held on 6th October by participating in oral and poster sessions. At the beginning of the symposium, representatives from Indonesian government, local government of Yogyakarta and related agencies gave welcome remarks, respectively. From FNCA, Dr Phiriyatorn Suwanmala and Dr Hanawa

Takehisa gave a presentation as an invited speakers at the parallel sessions. Other FNCA participants also gave presentations on their research activities and results.

### **Annex 3. Session Summary**

#### **Session 2: Overview and Achievements of FNCA Projects**

##### **1) FNCA Achievements 2018-2019 (Mr Wada Tomoaki)**

FNCA Ministerial Level Meeting agreed to encourage the member countries to bring the R&D products of such projects as mutation breeding, radiation processing and polymer modification to the end-users including the private sector, promote cooperation with international organizations, and further accelerate FNCA activities not only by accelerating the existing R&D themes but also adopting possible future R&D themes. Regarding Radiation Processing and Polymer Modification project, we have started discussing the new R&D themes such as animal feed supplement, environmental remediation, and hydrogel for medical application since last year. Interesting R&D reports have already being made from member countries.

##### **2) Project Overview (Dr Tamada Masao)**

Radiation processing and polymer modification project was launched newly from 2018 by merging electron accelerator and biofertilizer projects. The project explored gaps in basic and application aspects and corresponding implementation plans in the following seven R&D subjects which meet the needs in participating countries:

1. Degraded chitosan for animal feeds
2. Hydrogel for medical application
3. Environmental remediation
4. Synergistic effect of plant growth promoters (PGP), super water absorbents (SWA) and biofertilizer (BF)
5. PGP and SWA inclusive process development
6. Mutation breeding of BF microbe using gamma irradiation
7. Sterilization of BF carrier using gamma irradiation

Special topics toward technology transfer in participating countries are:

- Marketing authorization of oligochitosan as immuno-stimulant and growth in aquaculture was issued. (Degraded chitosan for animal feeds, Vietnam)
- More than 150 patients were treated by hydrogel wound dressing (Hydrogel for medical application, Bangladesh).
- Adsorbent for collecting uranium from seawater was prepared on a bench scale and evaluated by seawater waterway experiment. (Environmental remediation, China)

We will continue information sharing and discussion on seven subjects that will lead various applications in agricultural, environmental, and medical field to promote R&Ds and their technology transfer to end-users in participating countries.

#### **Session 3: Progress Report on Biofertilizer**

##### **1) Dr Md Kamruzzaman Pramanik, Bangladesh Atomic Energy Commission, Bangladesh**

### **1. Synergistic/ combined effect of chitosan (as PGP) and *Azospirillum spp.* (as biofertilizer) on rice plants**

Combined effect of chitosan as PGP and *Azospirillum* species as biofertilizer on rice plant was studied in a semi-field level experiment.. Six treatments were applied with triplicates viz, T<sub>1</sub>: 100% chemical fertilizer, T<sub>2</sub>: 40% chemical fertilizer, T<sub>3</sub>: 40% chemical fertilizer +100ppm chitosan, T<sub>4</sub>: 40% chemical fertilizer +100ppm chitosan+ biofertilizer, T<sub>5</sub>: 40% chemical fertilizer + biofertilizer and T<sub>6</sub>: Control (native nutrient). Rice variety, BRRI-129 was selected as test rice variety and several parameters including tiller height and number, panicle length and grain yield were assessed to determine if any synergistic or combined effect of chitosan and biofertilizer is present. Result showed that both the highest tiller height (93.98 cm) and tiller number (17.89/hill) were found in T<sub>1</sub> and no synergy was found with respect to these parameters. The highest panicle length (24.46 cm), grain no./panicle (194.12) and straw weight were also found in the same (T<sub>1</sub>) treatment and were almost unaffected with either treatment. Grain size was increased upto 3.07% in the T<sub>4</sub>-treatment as measured by 1000-grain weight but not at significant level. Grain yield of rice (t/ha) was increased up to 4.41% in T<sub>4</sub>-treatment in comparison to control but not as synergistically. Overall results indicate that integrated use of chitosan (100ppm) plus biofertilizer along with (40%) chemical fertilizer has some effect with respect to grain size and yield.

### **2. Incorporation of antimicrobial activity in PVA hydrogel upon addition of chitosan**

Hydrogel made of polyvinyl alcohol (PVA) is a material that has potential and different biomedical usages including wound healing and burn dressing. PVA along with other natural polymer (e.g., k-carrageenan) is usually processed by gamma radiation and produces flexible, transparent, mechanically suitable, economical and biocompatible hydrogel. In Bangladesh, hydrogel produced/ processed by ionizing radiation has been used for several years which is made of only PVA or PVA plus k-carrageenan where radiation processing and sterilization is performed simultaneously. As chitosan is a natural polymer and its antimicrobial activities can be obtained or enhanced by applying gamma radiation, an effort was made to incorporate chitosan in PVA to attribute the gel with antimicrobial properties upon irradiation by gamma ray from Co-60 source. In this experiment 2.0% and 1.0% chitosan dissolved in 2.0% and 1.0% acetic acid was mixed with same amount of 20% PVA dissolved in distilled water to produce mixture of 1.0% and 0.5% chitosan in 10% PVA, respectively. After casting, this material was irradiated with a radiation dose of 25.0 kGy from Cobalt-60 gamma source. Then, gel disk was made with sterile borer and tested for antimicrobial activity against both Gram positive (*Staphylococcus aureus*) and Gram negative (*E. coli*) bacteria by disk diffusion method on Mueller Hinton Agar medium. Result showed that gel containing chitosan showed antimicrobial activity as per concentration dependent manner as measured by zone of inhibition and Gram positive bacteria was found more sensitive than Gram negative bacteria. Beside antimicrobial properties, some of the physical parameters (e.g., swelling ratio, porosity etc.) were also improved in chitosan- incorporated PVA hydrogel. However, further test and trails are required to optimize and confirm the suitability and biocompatibility issue before its final applications.

### **2) Dr Nana Mulyana, National Nuclear Energy Agency, Indonesia**

Climate change and mismanagement of natural resources was affect to land degradation. This condition can disrupt the sustainability of agriculture and the environment, so that a comprehensive effort is needed to

restore the land strategic function. Land bioremediation is an effort to improve the plant's rhizosphere ecosystem. The use of local organic matter and inoculant selected functional microorganisms is very necessary in land remediation with extreme environmental stress. Selected microorganism strains can be obtained through exploration or increased ability of selected strains from culture collections. Co-60 gamma irradiation has the potential to be used in increasing the ability of selected strains, especially selected fungi strains. The use of Co-60 gamma rays has also been proven to produce carriers with the high strility and quality guarantee. Land bioremediation with inoculant functional microorganisms and local organic material is expected to be an alternative solution to develop the rhizosphere ecosystem and restore the land strategic functions

### **3) Biocontrol and Growth Promotion Effects of Bacillus-based Biofertilizer with Oligochitosan (Dr Okazaki Shin, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan)**

We screened plant growth-promoting strains from field soils at the Tokyo University of Agriculture and Technology (Tokyo, Japan) and isolated a strain, TUAT1, which was identified as *Bacillus pumilus*. TUAT1 promotes the growth of several plants, including that of rice and *Brassica* species. An inoculant for rice was developed using TUAT1 that has been commercialized as “Kikuichi” in Japan.

Meanwhile, we found that TUAT1 could inhibit the growth of some plant fungal pathogens when cultivated together in a agar plate. To understand the biocontrol activity and mechanisms of *Bacillus pumilus* TUAT1 on different plant fungal pathogens, we evaluated biocontrol spectrum and identify the biocontrol agents of TUAT1. We found that TUAT1 could inhibit the growth of several fungal pathogens. Among them, we found that TUAT1 could inhibit strongly the growth of *Calonectria ilicicola* which causes soybean root rot disease, one of the severest soybean disease in the world. On the pot experiment, we found that the TUAT1 could alleviate the disease occurrence of soybean root rot disease and promote the growth of soybean. Furthermore, additional treatments of soybean plants with oligochitosan together with TUAT1 could enhance the the disease control as well as the seed production. We further analyze the biocontrol agent produced by TUAT1 and for understanding the biocontrol mechanisms and further application.

### **4) Current Status and Future Research of Malaysia's Biofertiliser (Dr Phua Choo Kwai Hoe, Malaysian Nuclear Agency, Malaysia)**

Malaysia's biofertiliser market is currently focusing on liquid multifunctional biofertiliser products. Numerous farmers, especially paddy growers, have been in search of biofertiliser products. Various paddy plots had been tested with biofertiliser and had shown favourable yields. The Malaysian Nuclear Agency had commercialised a multifunctional biofertiliser (Bioliquifert). Two multifunctional biofertilisers, namely, AP1 and M99, are currently in the process of commercialisation. Improvements in the multifunctional activities of biofertiliser microbes had been conducted through gamma irradiation. Two gamma-irradiated biofertiliser microbes, namely, *Acinetobacter baumannii* and *Acinetobacter calcoeticus*, had been obtained. The mutation effects on nitrogen and phosphate solubilisation gene (*nif* and *pqq* genes) had been studied. The synergistic effect of radiation-processed chitosan with biofertiliser had been performed on maize and vegetable crops. No synergistic effect of radiation-processed chitosan with biofertiliser on vegetable crops was generated in the greenhouse experiment. The combined radiation-processed chitosan, biofertiliser with chemical or

organic fertiliser on maize at plot experiments resulted in favourable yield in comparison with farmer practices. Gamma sterilisation on carrier showed that 20 kGy can kill bacteria, fungus and actinomycetes. Future biofertiliser research will focus on multifunctional biofertiliser, mutagenesis biofertiliser microbes, seed treatment biofertiliser through gamma irradiation breeding tomato seed, developing a cost-saving radiation-processed chitosan mixture biofertiliser and gamma sterilisation using a new biofertiliser carrier.

**5) Study on The Effects of Oligochitosan and Biofertilizer on Greenhouse Plants (Ms Sunjidmaa Otgonbayar, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolia)**

Evaluation of the synergy effect between bio-fertilizer and oligochitosan was conducted to determine the growth and yield of the tomato and pepper. Study was conducted in a split-plot design with 2 replications was used and each replication consisted of nine plants. Study for synergistic effect of biofertilizer and irradiated oligochitosan, some positive effect such as plant growth promoter in tomato and pepper growth stage in the green house experiment. The plots on Oligochitosan and biofertilizers application was high efficiency and more than green mass 30-35%, vegetative growth, flowering and fruit development stages was in before 5-7 days, rate to control.

**6) Performance of *Bio N* microbial inoculant and Carrageenan on the Yield of Corn (*Zea mays*) (Ms Julieta A. Anarna, National Institute of Molecular Biology and Biotechnology, the Philippines)**

The heavy applications of chemical fertilizers result to disturbance of soil properties, environment and human health. It is in this regard that bio-fertilizer research was undertaken to come up with more cost-efficient and alternatives to imported chemical fertilizers for enhancing agricultural crops with less dependence on chemical fertilizer. The use of microbes as biofertilizer is an important part for sustainable production of agricultural crops. Biofertilizer is a cheaper alternative to the continuous rising cost of chemical fertilizer and can help boost crop production at a much lower cost and thereby increase farmers' income.

This year three experiments were conducted using corn as the test crops to determine the effect of single and combined inoculation of biofertilizers commercially available at BIOTECH-UPLB namely Bio N (*Azospirillum*) and Mykovam (*Mychorhiza*). Plant growth promoter carrageenan formulated from radiation-processed carrageenan—an extract from seaweed processed into powder from PNRI was also evaluated in combination with Bio N. All experiments were set up under field condition at BIOTECH demonstration farm and in one of the province of the Philippines (Tanaue, Batangas) laid out in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications. Different treatments were employed in each study. For Study 1 Effect of chemical fertilizer and Bio N inoculation conducted from September to November, 2018 the treatments used were T1 - Full Chemical Fertilizer and T2 - Full Chemical Fertilizer + Bio N. For the study combined inoculation of Bio N and Mykovam the following treatments were used, T1 – Control T2 – Full Chemical fertilizers T3 – Full Chemical fertilizer + Bio N T4 - 1/2 Chemical fertilizer + Bio N T5- Bio N + Mykovam and T6 – 1/2 Chemical fertilizer + Bio N + Mykovam. For synergy effect study the following treatments were employed in the study T1-Control, T2- Chemical fertilizer, T3- 1/2 Chemical fertilizer, T4- Bio N, T5- Bio N + Chemical fertilizer, T6- Bio N + 1/2 Chemical fertilizer, T7- Carrageenan, T8- Carrageenan, T9- Carrageenan+ Chemical fertilizer and T10- Carrageenan + Bio N. Yield data was gathered and computed from the sample plots. Data obtained from study 1 shows positive effect with 29.22 % increase



over the uninoculated plots. The results showed on study 2 that mean weight of corn from the plants treated with ½ chemical fertilizer combined with Bio N and Mykovam were comparatively similar to the fully fertilized plot. The study revealed that the highest yield was obtained from plots treated with both Bio N and carrageenan with 15.96 tons and 15.87 tons per hectare respectively compared with chemical fertilizer with only 14.16 tons per hectare. A 1.80 tons was realized due to inoculation and application of Bio N and carrageenan. The application of biofertilizers whether singly or with co- inoculation improve productivity of the test crop. The National Institute of Molecular Biology and Biotechnology is continuously promoting the use of biofertilizers and extending it to the Filipino farmers. Sterilization of Bio N BF carriers using 20kGy gamma irradiation is being employed.

**7) Development of Liquid Rhizobium Bio-fertilizer and Phosphate Solubilizing Bio-fertilizer Powder by Spray Drier (Dr Kunlayakorn Prongjunthuek, Department of Agriculture, Thailand)**

Powdered rhizobium bio-fertilizer faced with the problem of contamination in carrier. Therefore, studied in a liquid form which is convenient for use because it can be used to mix seeds directly without seed coat or sticky substances. Studying liquid formulations for rhizobium bio-fertilizers of mung bean containing various polymers such as CMC, soluble starch and MgO using YM as a standard formula and product retention period. The results showed that rhizobium can grow well in YM + MgO 1 g/L, with the amount of survival after 180 days of storage at room temperature at  $2.18 \times 10^9$  colonies/ml.

Phosphate solubilizing bio-fertilizers using cow manure fermented as carrier, which is uneven and contaminated. Therefore, develop the production model in powder form by spray drying machine by selecting highly effective bacteria, the optimum conditions for powder form production and storage of products was studied. The results performed that *Pseudomonas fluorescents* SM-P025B had the survival after spraying drying at 110 and 120°C more than 80% and the product gave the highest of tomato germination at 92.31%. For storage period of 6 months at 4°C and room temperature gave the amount of survived was  $2.18 \times 10^8$  and  $1.16 \times 10^8$  colonies/gram bio-fertilizer, respectively, which exceeded by the Fertilizer Act.

**8) Preparation of Microbial Fertilizer in Beads for Vegetable (Dr Tran Minh Quynh, Vietnam Atomic Energy Institute, Vietnam)**

In this experiment, a granular microbial fertilizer containing nitrogen fixation bacteria (*Azotobacter chroococcum* VACC 86) and IAA producing bacteria (*Bacillus megaterium* VACC 118) has been prepared. Briefly, the bacterial strains were selected from the Culture collection of Soils and Fertilizers Research Institute, activated and cultured in corresponding fermentation media. Then, the stationary phase cultures of *A. chroococcum* and *B. megaterium* at densities of about  $7.5 \times 10^7$  and  $2.5 \times 10^{10}$  CFU/g, respectively, were homogeneously suspended in the carrier mixture of 2% sodium alginate and 33% radiation modified cassava starch. Resulting solution was dropped in 2.5% CaCl<sub>2</sub> solution for precipitation in bead. The bead containing bacteria were stabilized by crosslinking between sodium alginate and calcium ion for further 30 min, then dried to a critical moisture below 10%. Density of surviving bacteria in the beads was determined according to TCVN 6166:202 and TCVN 8736:2011 periodically at days 7, 30, 90 and 180. The results revealed that the cell density in the resulting microbial fertilizer still higher than  $10^8$  CFU/g after 6 month storage.

Resulting beads were applied to vegetable at the rate of 20 kg per ha and the results revealed that the fertilizer could promote the growth of cabbage, tomato and radish cultivated in both screen house and field. Application of the resulting fertilizer with NPK much increased the rate of folded plant, fresh weight of head and yield of the cabbages grown on alluvial soil. These results also observed in the plant treated with reduced inorganic fertilizer (80% NPK as local standard). Thus, the microbial fertilizer can be partly replaced for chemical fertilizers, as potential solution for sustainable agriculture in order to reduce environmental pollution and adapt to climate change.

#### **Session 4: Progress Report on Polymer Modification**

##### **1) Mr Md Saifur Rahaman, Bangladesh Atomic Energy Commission, Bangladesh**

##### **1. Application of oligo-chitosan as plant growth promoter on Capsicum (*Solanaceae Genus*) and Strawberry (*Fragariaanayasa*)**

Nuclear and Radiation Chemistry Division, Institute of Nuclear Science and Technology, Atomic Energy Research Establishment, Savar, Dhaka, Bangladesh.

Semi-Field and pot experiments were conducted at the yard of Atomic Energy Research Establishment, Savar, Dhaka, Bangladesh during the period December 2018 to May 2019 to investigate the effect of o-chitosan application on the growth and economic yield of capsicum and strawberry respectively. The foliar application of oligo-chitosan was done every ten days interval up to harvesting. Effects of oligo-chitosan on both the plants' growth and productivity were investigated in terms of total number of fruits, total weight of fruits, harvest time and % yield. For Capsicum, the experiment comprised of four (4) levels of oligo-chitosan concentrations viz., 0 (control), 50, 75 and 100 ppm. The results showed that the foliar application of oligo-chitosan at 75 and 100 ppm concentrations displayed significant effects. The productivity was increased up to 89 and 146 % over control for 75 and 100 ppm respectively. In the pot experiment for the strawberry plants the used oligo-chitosan concentrations were 0 (control), 25, 50, 75 and 100 ppm. Among all the concentrations 25 and 75 ppm showed significant results. The results showed that the productivity of the strawberry plants increased upto 54 and 48 % for 25 and 75 ppm respectively. For both the plants under experiment, oligo-chitosan shortened the harvest time in contrast to control. These results suggest that foliar application of oligo-chitosan at 75 or 100 ppm for Capsicum and 25 or 75 ppm for Strawberry can be taken as the optimum concentrations for maximizing plant growth and yield of these plants.

##### **2. Preparation of hydrogels dressing from PVA and Chitosan with improved properties by gamma radiation.**

Our group is working on the preparation and characterization of hydrogels from various hydrophilic polymers by the application of gamma radiation. A hydrogel from 10% PVA and 1% k-carrageenan for biomedical application by gamma radiation (25 kGy) and have been applying this excellent dressing material for burn wounds at Uttara Adhunik Medical College Hospital, Uttara, Dhaka, since March 2011 for clinical test. We are trying to supply the hydrogels to other medical colleges as an effort of expanding the arena and acceptability of this hydrogel. The feasibility study of the hydrogels at 20, 30 and 40 °C showed that, the use of hydrogel is feasible over the experimented temperatures. The routine sterility check of the hydrogels are done per batch from Microbiology and Industrial Irradiation Division, Institute of Food and Radiation

Biology, BAEC. As an effort to enhance and improve the quality of the hydrogel dressing we have prepared chitosan incorporated hydrogels by gamma radiation at 25 kGy radiation dose having 10% PVA with (A) 1, (B) 0.5% (1% acetic acid), 0.5% (0.5% acetic acid) and (D) 0% chitosan contents. Gel fraction and crosslinking density of the hydrogel containing 1% chitosan is the lowest (90 %) and the % swelling ratio ( $\sim 500\%$ ) of this hydrogel is highest. Between the hydrogel samples B and C, B renders lower % gel ( $\sim 95\%$ ) and thus higher % swelling ratio ( $\sim 400\%$ ). Antimicrobial activity of the prepared samples were done at Microbiology and Industrial Irradiation Division, Institute of Food and Radiation Biology, BAEC and positive result was found for the all the samples. Further investigation is required to optimize a chitosan containing hydrogel for medical use.

## **2) Develop of Metal Ions Adsorbent and Super Water Adsorbent with Radiation Induced Graft Polymerization and Crosslinking (Dr Ma Hongjuan, Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, China)**

A series of fibrous adsorbent was prepared by pre-irradiation grafting of monomers including acrylic acid, acrylonitrile, glycidyl methacrylate et al. onto the polymeric fiber using  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays and electron beam irradiation. The original and modified fibers were characterized by a series of characterization methods to demonstrate the attachment of functional groups onto the fibers. The adsorption capacity of the functional fiber was investigated in aqueous solutions containing various metal ions such as Cr(VI), Cd(VI), U(VI) et al.. The breaking strength confirmed that the fibrous adsorbent could maintain good mechanical properties and long service life.

Amylum-based super water adsorbent (SWA) was prepared with co-irradiation induced grafting and crosslinking of acrylates. Water absorption ratio can reach 350 g/g in deionized water and 50 g/g in 0.9wt% NaCl aqueous solution, which meet a criterion of Chinese agricultural industry standards. This SWA is using in west China for desertification control. Survival rate of the typical plant in desert was significantly enhanced with certain content of SWA.

## **3) Application of Irradiated Chitosan for Plant Elicitor and Animal Feed Additive (Dr Darmawan Darwis, National Nuclear Energy Agency, Indonesia)**

National Nuclear Energy Agency (BATAN) Indonesia has successfully prepared irradiated chitosan (oligochitosan) from shrimp shells using demineralization, deproteination, and deacetylation process to produce chitosan and it was followed by irradiation using gamma rays. It is well known that oligochitosan is used as PGP (plant growth promoter), plant elicitor, animal food additive, pharmaceutical and cosmetic product, as well as biomedical materials for application in medicine. In this report, oligochitosan was used for PGP, and plant elicitor to suppress the rust leaf disease on the Chrysanthemum plant and as an animal feed additive for ruminant (cow and sheep) and hen. In the Chrysanthemum plant, oligochitosan was foliar sprayed with a concentration of 100 ppm once a week for 3 months. As a positive control, the Chrysanthemum plant was sprayed with Hyponex and Extragreen liquid fertilizers. While for animal feed additive, oligochitosan was added to the concentrated animal feed with a concentration of 300 up to 500 ppm and without oligochitosan added to the concentrated animal feed as a control. The animal was given the formula every day up to 40 days. The results showed that the Chrysanthemum (PN variety) treated with

oligochitosan have shorter harvesting time (112.33 days) compared to the Chrysanthemum treated with Hyponex (121.33 days) and Evergreen (123 days). It was observed that oligochitosan suppressed rust leave disease *i.e.*, having the disease of only 21.53% compared to control (36.13%). Application of oligochitosan as animal feed additive showed increasing body gain in Pasundan's cow with the increasing of concentration of oligochitosan. It was showed that the increasing of body gain after 40 days application of oligochitosan with concentration of 0, 300, 400 and 500 ppm are 5.2, 9.8, 10 and 13.8 kg, respectively. The same tendency was also observed for increasing body gain in sheep and hen. Additionally, the oligochitosan increased the weight of hen's egg. It can be concluded that oligochitosan is effective as PGP and plant elicitor to suppress rust leave disease in Chrysanthemum plant and increase body gain of Pasundan's cow, sheep, and hen.

#### **4) Preparation and characterization of hydrogels by electron beam cross-linking (Prof Hanawa Takehisa, Tokyo University of Science, Japan)**

Oral formulations are frequently used in pharmacotherapy because of their convenience, but drugs with a bitter or unpleasant taste may cause lower adherence. Reduction of bioavailability by the hepatic first pass effect is also of concern for oral preparations. On the other hand, transdermal absorption-type pharmaceuticals are odorless, can avoid the hepatic first pass effect, and are applicable for patients with undeveloped swallowing function such as infants or elderly patients with dysphagia. Transdermal formulations, in particular, have the advantage of being able to be immediately discontinued by peeling off when side effects occur. However, the skin permeability of drugs depends on the condition of the skin, and because of individual differences, techniques and drug carriers to improve skin permeability have been examined and developed.

Recently, gel formulations have attracted attention as one of the transdermal-absorbable formulations. Gels are semi-solid formulations capable of incorporating hydrophilic or hydrophobic solvents in the interstices of a three-dimensional network, and are classified into hydrogels containing water and organogels containing organic solvents based on the nature of the liquid phase within the gel.

Hydrogels can retain a large amount of water in a three-dimensional network, and are used as absorbent bodies for paper diapers, soft contact lenses, water retention materials for plants, etc.. Hydrogels are also more suitable for medical materials by having structures closer to biological tissues than other synthetic biocompatible materials, and are expected to be further exploited. Examples of practical applications as medical hydrogels include hydrogel-type wound dressings that promote healing by wetting wounds and disastrous exudate absorbers that absorb excess exudate.

Common preparation methods for hydrogels include chemical and physical cross-linking methods. The chemical cross-linking method involves adding chemical cross-linkers, such as glutaraldehyde and 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimide hydrochloride (EDC) and N',N'-dicyclohexylcarbodiimide (DDC) to form covalent cross-linking of polymeric chains. However, EDC and DDC are highly toxic to living organisms, causing severe skin allergy, and skin irritation, such as cytotoxicity, due to residual cross-linkers, and rash and redness caused by organic solvents are problematic; therefore, a safer preparation method is required. On the other hand, physical cross-linking methods without the use of cross-linkers include the freeze-thaw method, by which the local concentration of polymer chains increases locally to form cross-

linked structures by noncovalent bonds occurring between polymer chains because ice and macromolecules are phase separated by cooling the aqueous polymer solution below the freezing point, the  $\gamma$ -ray irradiation method and the electron beam irradiation method, by which cross-linking, degradation and polymerization occur due to radicals generated by the polymer undergoing  $\gamma$ -ray or electron beam irradiation. The electron beam cross-linking method may be able to prevent toxicity problems due to residual cross-linkers because the hydrogels are formed by irradiating water-soluble polymer solutions, such as hydroxypropyl cellulose (HPC) and methyl cellulose (MC), with electron beams, and no cross-linker is used. However, although hydrogels formed by irradiating HPC and MC solution with electron beams are currently utilized as wound dressings, those formed from hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), a cellulosic derivative, have not been reported. When a hydrogel is used as a drug carrier, there is a method of introducing a drug into the hydrogel by immersing the drug solution in the hydrogel for a long period.

Therefore, in this study, we focused on tramadol hydrochloride (TRA) as a water-soluble drug. TRA is used as an analgesic for several cancers and as a postoperative analgesic. It acts on  $\mu$ -opioid receptors by inhibiting the reuptake of serotonin and noradrenaline, and is freely soluble in water [19]. In this study, we first prepared hydrogels from water-soluble polymeric HPMC by electron beam cross-linking and assessed their physical properties. Then, the potential applications of HPMC hydrogels prepared by electron beam cross-linking in transdermal absorption-type formulations were investigated using the water-soluble drug TRA as a model drug.

Irradiation of aqueous HPMC, a water-soluble polymer, with electron beams formed hydrogels at both concentrations (10 or 20%) and all electron doses (10, 30 or 50 kGy). Furthermore, the hydrogels formed by electron beams exhibited different physical properties depending on the electron beam irradiation dose. For the water-soluble pharmaceutical TRA, its release from the hydrogel and skin penetration differed depending on the irradiation dose. Therefore, the released amount of the water-soluble drug TRA was able to be controlled by changing the irradiation dose.

## **5) Dr Pavel Krivtsov, JSC "The Park of Nuclear Technologies", Kazakhstan**

Kazakhstan considers relevant to use super water absorbers (SWA) because of farming in areas with a shortage of fresh water. Therefore, the Park of Nuclear Technologies has been conducting studies since 2014 and what's more, it has established SWA pilot production from potassium polyacrylate. The PNT has produced a pilot batch of SWA in the amount of 150 kg and transferred it to Krasnovodopadskaya experimental station and forestry Semey Ormany for field research. The following results were obtained: chickpea yield increased by 180% after using SWA 25kg/hectare compared to the control sample which increased by 196% using SWA 50 kg/hectare. The survival rate of two annual pine seedlings was raised twice. The PNT is conducting research to raise carboxymethylcellulose in SWA; it obtained a patent for a method of producing SWA using electron accelerators; registered BetaSorb trademark; purchased and established equipment for SWA production with a capacity of 200 tons/year. Production line is going to be launched in 2019.

Investigations are also underway on using SWA in the manufacture of substrate for mushrooms' production. SWA can reduce loss of moisture by substrate that leads to an increase in productivity. When using SWA from CMC, SWA will also be a breeding ground for fungal spores in addition to keeping.

**6) Radiation Modification of Polymers Current R&D&C Activities in Nuclear Malaysia (Ms Maznah Binti Mahmud, Malaysian Nuclear Agency, Malaysia)**

Nuclear Malaysia (NM) is the leading government institute in R&D&C of products produced by radiation processing technology in Malaysia. The application of radiation technique becomes one of the established tools in bio and synthetic polymers modification in order to enhance properties as well as the functionalities of the polymers besides chemical and physical techniques. Currently NM is working on synergistic studies involving oligochitosan/SWA and oligocarrageenan/SWA on Chinese kale (pot test scale) and oligochitosan-liquid fertilizer (M99) on papaya and corn (field test scale). Results showed that combination treatments give positive impact to germination rate, growth rate and quality of yield. NM also has collaborated with local companies through R&D&C cooperation towards commercialization of oligochitosan as PGP. NM has taken a step forward to introduce oligochitosan as food supplement for animal feed. As for now, we are focusing for fish feed and currently still in progress to produce oligochitosan with 5000 Da molecular weight to meet the requirement for this purpose. NM has taken initiative to collaborate with Fishery Research Institute in order to make the fish feed project succeed. Furthermore, NM continuing the study on development of hydrogels towards the application as drug carrier and 3D cell culture matrix. The hydrogels consisting of biosynthetic polymers indicate the hybrid system of radiation-induced-crosslink of chitosan-PEG-PVP and PVP-carrageenan hydrogels are biocompatible and suitable for cell proliferation and growth.

**7) Biological Remediation of Physical Degraded Soil with Plantation and Bacterial Mixed Culture (Dr Chinzorig Radnaabazar, National University of Mongolia, Mongolia)**

Problems in Mongolian mining include deficient remediation measures and a lack of consideration for environmental issues. In 2011, used mining sites were 20401.3 hectare and remediated land was 4630.3 hectare in phase one, 4587.6 hectare in phase two which is biologically remediated. Overall statistics indicate that only 22.4% of mining are is properly remediated and there is dozens of abandoned mine land.

The objective of this study was to investigate synergy effect of several species of plants (*Medicago varia*, *Stipa sibirica*, *Astragalus adsurgens*, *Allium mongolicum* et al.,) and mixed bacterial culture in physically degraded soil at gold mining area. Depending our result we indicate bacterial composting is effective and plant vegetation, survivability was higher than bare soil.

**8) Radiation-Modified Polymeric Materials for Various Applications (Ms Charito Aranilla, Philippine Nuclear Research Institute, the Philippines)**

The Carrageenan PGP was recently launched in various locations in the Philippines by two DOST-PNRI licensee companies (MTPSI and HTLTIC) under the brand names Vitalgro and Aqua Oro. Both licensees have plans for expansion and putting up their own facilities. In the meantime, they use the PNRI e-beam facility for their initial requirements for product sampling and inventory for dealers. The DOST-PNRI Licensing Agreements for MTPSI and

HLTCI were signed in 2018 and each had remitted a non-refundable technology transfer fee of 1.5M pesos or 28,000 US dollars. Super water absorbents (SWA) based on cassava starch and acrylic acid (AAc) were synthesized based on FNCA guidelines. Synthesis optimization using a statistical design software generated optimum parameters in terms of component ratio, degrees of neutralization (DN) of AAc and irradiation doses and these parameters were verified experimentally. Based on water retention efficiency in sandy loam-clay-rich soil, SWA with formulation of 20% AAc (30% DN), 7.5% starch and radiation dose of 20 kGy was the most efficient. Radiation-crosslinked hydrogels based on carboxymethyl cellulose and  $\kappa$ -carrageenan/polyethylene oxide were prototyped into hemostatic granules and dressing to control bleeding in traumatic wounds. These hemostatic agents can be used to improve emergency response and increase survivability in trauma victims in military battlefields, disasters, household accidents and in medical operations. Both hemostatic agents have no cytotoxicity and acute systemic toxicity, non-irritant and are weak dermal sensitizer.

#### **9) The Applications of Radiation Processing in Thailand (Dr Phiriyatorn Suwanmala, Thailand Institute of Nuclear Technology, Thailand)**

Over the past 10 years, Thailand has invested in facilities that have enabled it to apply radiation processing technology for peaceful purposes. Radiation processing has been utilized in various fields including: industry, environment and agriculture. The facilities include Gamma and Electron beam radiation.

In agriculture, the radiation-induced sterile insect technique (SIT) has been utilized for the control of oriental fruit fly populations in provincial orchards. A reduction of 80-90% fruit fly population was achieved in the targeted areas. TINT conducts research to investigate the effects of gamma and electron beam irradiation on the microbiological quality of herbs, as well as to characterize the functional components, antioxidant activities and other related functional assay. Gamma radiation and electron beam treatments can reduce or eliminate microbial contamination. The use of irradiation for food quality and safety has been applied to help Thailand export six types of fruit to the United States of America (USA). Gamma radiation has also been used successfully to induce useful mutation in crops and ornamental plants. Radiation-induced degradation was used to reduce the molecular weight of prepared chitosan, yielding oligochitosan. The treatment of chili plants by oligichitosan clearly displayed positive effects on chili's growth and productivity.

For the environment, radiation-induced grafting was used to prepare dye adsorbent and metal adsorbent for environmental application.

In industry, cosmetic products are being developed through exploitation of the ability of irradiation treatment to increase the yield of active components during the extraction process. Furthermore, polymeric materials, especially natural polymers such as starches, cellulose, chitin and chitosan, are natural polymers with high potential for various applications due to their unique properties, especially biodegradability and biocompatibility. The super water absorbents (SWA), derived from cassava starch and sugarcane bagasse by radiation processing, is used in agriculture. SWA acts as a local reservoir, releasing water vapor into soil and plants as needed and also maintains moisture balance. It is applied to relieve water deficiency in the arid

areas of Thailand. Electron beam irradiation is used to enhance the color of gemstones for improving their appearance and value addition.

#### **10) Synthesis of Radiation Crosslinked Gelatin/Carboxymethyl Chitosan Hydrogel Scaffold for Tissue Culture (Dr Duy Ngoc Nguyen, Vietnam Atomic Energy Institute, Vietnam)**

The hydrogel scaffolds from biocompatible natural polymers have been investigated and developed for application in tissue engineering. In order to create a suitable hydrogel scaffold, the selection of polymer compounds and hydrogel production methods has always attracted many studies. Hydrogels from gelatin/CM-chitosan mixtures with the different weight ratios of 10/0, 9/1, 8/2, and 7/3 were prepared by  $\gamma$ -ray irradiation-crosslinking. After irradiating, the hydrogels were determined the gel fraction and equilibrium water swelling by the weighing; and scanning electron microscope (SEM) images of scaffolds were taken after freeze-drying to determine the porous structures. The results showed that the dose of 30 – 35 kGy is necessary to prepare the hydrogels with gel fraction of 72 - 84%; equilibrium water swelling of 4.9 – 12 g/g after 10 hours immersing; the porous size of 100 – 350  $\mu\text{m}$ . Amongst all the studied samples, the hydrogel gelatin/CM-chitosan with the ratio of 9/1 (13.5 g/1.5 g/100 ml water) attained the highest gel content ( $\sim$  84%), the water absorption degree (5.8 g/g) and porous size of 120 – 250  $\mu\text{m}$ , met the requirements for use as a mesenchymal stem cell culture scaffold.

#### **Session 6 & 7: Discussion/Presentation on Achievements, Obstacles and Planning**

Participants divided into seven groups discussed achievements, gaps in basic and application aspects, and implementation plans for the following expected needs in the participating countries:

- A) Degraded Chitosan for Animal Feeds
- B) Hydrogel for Medical Application
- C) Environmental Remediation
- D) Synergistic Effect of Plant Growth Promoters (PGP), Super Water Absorbents (SWA) and Biofertilizer (BF)
- E) PGP and SWA, Inclusive of Process Development
- F) Mutation Breeding of BF Microbe Using Gamma Irradiation
- G) Sterilization of BF Carrier Using Gamma Irradiation

Conclusions were as follows:

##### **A) Degraded Chitosan for Animal Feeds**

###### Achievements

Oligochitosan prepared by radiation-induced degradation of chitosan has been applied to animal feeds in Indonesia, and Vietnam. Thailand & Malaysia decided to work on preparation of oligochitosan for animal feed.

- Preparation method of oligochitosan was established for animal feed additives and field test was finished. (Vietnam; fish and shrimp & Indonesia; fish and hen)
- Oligochitosan was licensed as immunostimulant for fish and shrimp. Combination of selenium nanoparticles and oligochitosan was investigate to increase immune system of shrimp (Vietnam)



- Experiment is conducted to find the optimum condition for the application (Indonesia)

#### Gap in basic aspect

- i) Many uncertainties in mechanism in growth performance and immunostimulant on animals

#### Gap in application aspect

- ii) Little public acceptance
- iii) Difficulty of registration as animal feed
- iv) No comparison between oligochitosan and available commercial products

#### Implementation plan

- i) Effect of oligochitosan as feed additive should be investigated.
- ii) Seminar/media/exhibitions is conducted in order to increase the public acceptances.
- iii) Reconsideration of registration in other categories
- iv) Competitiveness with the commercial product in term of enhancing the productivity will be conducted.

### **B) Hydrogel for Medical Application**

#### Achievements

- Cell scaffold hydrogel for three-dimensional culture (Malaysia and Vietnam)
- Transdermal patch for treatment of neuropathy using hydrogel loaded with API (Tromadol HCl) (Japan).
- Shelf life study was done for external wound dressing of gamma-radiation crosslinked polyvinylalcohol and Kappa Carrageenan blend hydrogel and incorporation of antimicrobial activities using Chitosan with polyvinylalcohol. (Bangladesh)
- Application of hydrogel as hemostatic (Philippines)

#### Gaps in basic aspects

- i) No research on diffusion behavior of the drug molecules in transdermal patch hydrogel

#### Gaps in application aspects

- ii) No understanding of advantage of hydrogel in medical applications.
- iii) Little public acceptance of products.

#### Implementation plans

- i) Collaborative research with pharmaceutical companies.
- ii) Awareness of advantages in radiation technology for hydrogel preparation to end-users
- iii) Seminar/media/exhibitions is conducted in order to increase the public acceptances.

### **C) Environmental Remediation**

#### Achievements

- Phytoremediation of with mining site using biofertilizer (Mongolia)
- Fibrous adsorbents for Cr, Cd, and U has mechanical strength and long life (China).
- Dye decoloration by EB as water treatment in lab scale (Vietnam)
- In Indonesia, increased amount of yields (20-30%) were harvested from biologically remediated agricultural field of paddy rice.

- One industrial plant for textile waste water treatment using EB irradiation is now running and the economic analysis is acceptable and competitive (China)

#### Gaps in basic aspects

- i) Low reproducibility in experimental data.

#### Gaps in application aspects

- ii) Low cost-effectiveness of adsorbents
- iii) Competition with traditional methods.
- iv) Distribution of textile factory is not centralized, so it is too difficult for collect wastewater dyeing.

#### Implementation plans

- i) Removal of experimental variations and keep consistency in repeated experiments.
- ii) Development of inexpensive process to reduce the cost of irradiation, grafting, and treatment of waste monomer (China).
- iii) Clarification of advantages in radiation method (Mongolia).
- iv) Combination electron beam and biological method to treatment wastewater textile dyeing in bench scale (Vietnam)

### **D) Synergistic Effect of Plant Growth Promoters (PGP), Super Water Absorbents (SWA) and Biofertilizer (BF)**

#### Achievements

- In the case of Japan, synergy was observed in the disease occurrence of soybean root disease and promote the growth of soybean. However, almost of all members agreed that combined effect rather than synergistic effect in the yield of crops was more evident in the studies conducted in rice (Bangladesh), white pepper (Indonesia), corn (Philippines), sweet pepper and tomato (Mongolia) and maize (Malaysia).

#### Gaps in basic aspects

- i) A rare clear-synergistic effect of PGP and BF has been reported

#### Gaps in application aspects

- ii) Little acceptability of the technology by farmers/end users

#### Implementation plan

- i) Investigation by combining different functions such as disease reduction and plant growth promotion in PGP and BF.
- ii) Educating farmers on the application and benefits of the technology.

### **E) PGP and SWA, Inclusive of Process Development**

#### Achievements of PGP

- Bangladesh, Vietnam:
  1. Field Researches (Strawberry, Capsicum, Tomato).
  2. Extended collaboration with the commercializing wing BINA. And also BARI

### 3. Extended collaboration with Agricultural University.

- Indonesian – Pilot production, Field Researches (Pepper, Chrysanthemums)
- Malaysia – Established the production and towards commercialization, start working in development of new PGP (oligo-carrageenan)
- Philippines – Commercial production; Two commercial products out in the market
- Thailand – Semi - commercial production
- Mongolia – Research work

### Achievements of SWA

#### <Field Researches>

- Philippines – none
- Thailand – Rubber Tree, Baby corn
- Kazakhstan – Chickpea, Scots Pine, Wheat

#### <Production Status >

- Philippines – Small volume
- Thailand – Ready for industrial production
- Kazakhstan – Ready for industrial production

### GAP in Basic aspect

#### <PGP>

- i) Uncertainty in basic mechanism of plant growth promoter and elicitor
- ii) No identification of the structure of carrageenan (PGP) – initial experiment was conducted using LC/MS technique. Results show fragments similar to the disaccharide unit of k-carrageenan but changes in the structure of the disaccharide cannot be elucidated. Further analysis will be done.

#### <SWA>

- iii) Uncertain condition to increase the biodegradability

### GAP in application aspect

#### <PGP>

- iv) No registration of the product in some countries.
- v) Field trial applications are not yet done in some countries.

#### <SWA>

- vi) High production cost due to high drying cost
- vii) Reluctance by possible end-users to change conventional practices and accept technology

### Implementation plan

- i) Identification of the mechanism of action of PGP on plants
- ii) Identification of active component in carrageenan PGP
- iii) Optimization of the biodegradability of SWA by selecting a new biodegradable starting materials
- iv) Reconsideration of registration in other categories
- v) Field trial of PGP is encouraged by collaborative work with end-users
- vi) Process development and introduction of appropriate machine for inexpensive drying of SWA

- vii) More efforts on the promotion of the technology to end-users to increase its acceptance

#### **F) Mutation Breeding of BF Microbe Using Gamma Irradiation**

##### Achievements

- Most of the participating countries were searching multifunctional microbes (microbes with multiple beneficial traits) and each country has been working on different microbes with different functions as below

Country	Types of microbes	Function
China	<i>Trichoderma</i> sp.	Plant growth promotion and disease suppression
Indonesia	<i>Staphylococcus pasteori</i> <i>Aspergillus costaricaensis</i> (both non pathogens)	Phosphate and potassium solubilizing for biofertilizer
Malaysia	<i>Actinobacter</i> sp	Nitrogen fixation, phosphate and potassium solubilisation for biofertilizer
Thailand	<i>Azospirillum</i> sp., <i>Azotobacter</i> sp., <i>Beijerinckia</i> sp., <i>Burkholderia</i> sp. and <i>Gluconacetobacter</i> sp.	Nitrogen fixation and IAA (Indole-3-acetic acid: cell division and elongation effect) production for biofertilizer
Vietnam	<i>Bacillus subtilis</i>	High production of protease for animal feeds and biofertilizers

##### Gaps in basic aspects

- i) Inefficient screening and selection methods of desirable mutants after gamma irradiation

##### Gaps in application aspects

- ii) Different requirement for each country (bacteria sp., function, policy, acts etc.)

##### Implementation plan

- i) Development of efficient screening and selection methods by advanced robotic technique  
ii) Technology transfer of multifunctional BF to meet the requirement of each country

#### **G) Sterilization of BF Carrier Using Gamma Irradiation**

##### Achievements

- Gamma irradiation carrier that can be stored longer has been used commercially in Philippines since microbial inoculants survival longer in carriers sterilized by gamma irradiation.
- Malaysia commercialized three liquid BF as “Bioliqfert”, “GoGrow BioNPK Biofertilizer” and “Biofertilizer M99”). Liquid BF was commercialized in Mongolia.

##### Gaps in basic aspects

- i) Gamma irradiation is not high priority for carrier sterilization.

Gaps in application aspects

- ii) Lack of awareness of radiation technology in general and gamma facility in particular

Implementation plan for Next Phase

- i) Cost estimation of carrier sterilization using irradiation to prove that the radiation is better than autoclave.
- ii) Dissemination of radiation technology to end users.

## 2.2.2 RPPM 参加者リスト

### **List of Participants** **FNCA 2019 Workshop on Radiation Processing and Polymer Modification for** **Agricultural, Environmental and Medical Applications Project**

September 3<sup>rd</sup> – 7<sup>th</sup>, 2019

Yogyakarta, Indonesia

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Position and Organization</b>
Bangladesh	Mr Md Saifur Rahaman	Scientific Officer, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
Bangladesh	Dr Md Kamruzzaman Pramanik	Principal Scientific Officer and Head, MIID, IFRB, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
China	Dr Hongjuan Ma	Researcher, Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences
Indonesia (Coordinator)	Dr Hendig Winarno	Deputy Chairman of BATAN for Nuclear Technology Utilization, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia	Edy Giri Rachman Putra PhD	Acting Director of Science and Technology Accelerator, Director of Polytechnic of Nuclear Technology NEXPO Coordinator
Indonesia (PL)	Dr Darmawan Darwis	Researcher of Radiation Processing Division, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia	Dr Tita Puspitasari	Head of Radiation Processing Division, National Nuclear Energy Agency (BATAN)

Country	Name	Position and Organization
Indonesia	Dr Nunung Nuryanthi	Researcher of Radiation Processing Division, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia	Mr Nana Mulyana	Researcher of Industry and Environmental Division, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia	Mr Anggi Nico Flatian	Researcher, Agriculture Division, Center for Application and Technology of Isotopes and Radiation, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia	Mr Akhmad Rasyid Syahputra	Researcher of Radiation Processing Division, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Japan (Coordinator)	Mr Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan	Dr Okazaki Shin	Associate Professor, Department of International Environmental and Agricultural Science, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology
Japan	Prof Hanawa Takehisa	Professor, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Tokyo University of Science
Japan (Secretariat)	Ms Tanida Ayako	International Affairs and Research Department, Nuclear Safety Research Association (NSRA)
Kazakhstan	Dr Pavel Krivtsov	Deputy Chairman, PNT Management Board

Country	Name	Position and Organization
Malaysia	Ms Maznah Binti Mahmud	Research Officer, Malaysian Nuclear Agency
Mongolia (PL)	Dr Chinzorig Radnaabazar	Associate Professor, National University of Mongolia
Mongolia	Ms Sunjidmaa Otgonbayar	Head of Soil Microbiology Laboratory, Institute of Plant and Agricultural Sciences
The Philippines (PL)	Ms Charito Tranquilan Aranilla	Senior Science Research Institute, Department of Science and Technology, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)
The Philippines	Ms Julieta A. Anarna	University Researcher II, National Institute of Molecular Biology and Biotechnology
Thailand (PL)	Dr Phiriyatorn Suwanmala	Director of Nuclear Research and Development Division, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public organization) (TINT)
Thailand	Dr Kunlayakorn Prongjunthuek	Agricultural Research Officer, Professional Level, Department of Agriculture
Vietnam (PL)	Dr Nguyen Ngoc Duy	Head of Research and Development Department, Research and Development Center for Radiation Technology, Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)
Vietnam	Dr Tran Minh Quynh	Principal Researcher, Hanoi Irradiation Center, Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)



## 2.2.3 RPPM プログラム

### **Program of FNCA 2019 Workshop on Radiation Processing and Polymer Modification for Agricultural, Environmental and Medical Applications Project**

September 3<sup>rd</sup> – 7<sup>th</sup>, 2019  
Yogyakarta, Indonesia

Day 1, 3 September | Workshop at Royal Ambarrukmo Yogyakarta

0845-0900            Registration

0900-0910            **Session 1: Opening**

**Chair: Dr Tita Puspitasari**

- 1) Welcoming Remarks | BATAN Chairman/BATAN Deputy Chairman (3 min)
- 2) Opening Remarks | Mr Wada Tomoaki (3 min)
- 3) Introduction of Participants (3 min)
- 4) Photo Session (1 min)

0910-0950            **Session 2: Overview and Achievements of FNCA Projects**

**(Presentation 15 min + Q&A 5 min)**

**Chair: Mr Md Saifur Rahaman**

- 1) FNCA Achievements 2018-2019 | Mr Wada Tomodaki
- 2) Project Overview | Secretariat on behalf of Dr Tamada Masao, Japan

0950-1020            *Morning Tea (30 min)*

1020-1205            **Session 3: Progress Report on Biofertilizer**

**(Presentation 25 min + Q&A 10 min)**

**Chair: Ms Maznah Mahmud**

- 1) Dr Md Kamruzzaman Pramanik (Bangladesh)
- 2) Mr Nana Mulyana (Indonesia)
- 3) Dr Okazaki Shin (Japan)

1205-1310            *Lunch (65 min)*

1310-1455            **Chair: Dr Kunlayakorn Prongjunthuek**

- 4) Dr Md Kamruzzaman Pramanik (Bangladesh)
- 5) Ms Sunjidmaa Otgonbayar (Mongolia)
- 6) Ms Julieta A. Anarna (Philippines)

1455-1515            *Afternoon Tea (20 min)*

1515-1625	Chair: Ms Julieta A. Anarna
	7) Dr Kunlayakorn Prongjunthuek (Thailand)
	8) Dr Tran Minh Quynh (Vietnam)
1625-1735	<b>Session 4: Progress Report on Polymer Modification</b> <b>(Presentation 25 min + Q&amp;A 10 min)</b> <b>Chair: Ms Maznah Binti Mahmud</b>
	1) Mr Md Saifur Rahaman (Bangladesh)
	2) Dr Ma Hongjuan (China)
1830-2000	<b>Welcome dinner hosted by BATAN</b>

Day 2, 4 Sep |Workshop at Royal Ambarrukmo Yogyakarta

0845-1030	<b>Session 4: Progress Report on Polymer Modification</b> <b>Chair: Dr Chinzorig Radnaabazar</b>
	3) Dr Darmawan Darwis (Indonesia)
	4) Prof Hanawa Takehisa (Japan)
	5) Dr Pavel Krivtsov (Kazakhstan)
1030-1050	<i>Morning Tea (20 min)</i>
1050-1200	<b>Chair: Dr Duy Ngoc Nguyen</b>
	6) Ms Maznah Binti Mahmud (Malaysia)
	7) Dr Chinzorig Radnaabazar (Mongolia)
1200-1310	<i>Lunch (70 min)</i>
1310-1455	<b>Chair: Dr Pavel Krivtsov</b>
	8) Ms Charito Aranilla (Philippines)
	9) Dr Phiriyatorn Suwanmala (Thailand)
	10) Dr Duy Ngoc Nguyen (Vietnam)
1455-1515	<i>Afternoon Tea (20 min)</i>
1515-1630	<b>Session 5: Discussion on Achievements, Obstacles and Planning</b>
	<b>1) Grouping and Discussion</b>
	a) Degraded Chitosan for Animal Feeds   Dr Darmawan/Dr Tita, Ms Maznah, Dr Suwanmala, Dr Duy
	b) Hydrogel for Medical Application   Mr Saifur, Dr Hanawa
	c) Environmental Remediation   Dr Ma, Dr Chinzo

- d) Synergistic Effect of Plant Growth Promoters (PGP), Super Water Absorbents (SWA) and Biofertilizer (BF) | Dr Pramanik, Dr Darmawan/Dr Tita/Mr. Nana Mulyana, Ms Charito, Dr Okazaki
- e) PGP and SWA, Inclusive of Process Development | Dr Krivtsov, Ms Sunje
- f) Mutation Breeding of BF Microbe Using Gamma Irradiation | Dr Phua, Dr Kanno, Mr. Nana Mulyana, Ms. Ania Citra Resmini, (observer)
- g) Sterilization of BF Carrier Using Gamma Irradiation | Ms Juliet, Dr Quynh, Mr. Nana Mulyana

1630-1745

**Session 5: Discussion on Achievements, Obstacles and Planning (Cont.)**

**2) Preparation for Presentation**

Day 3, 5 Sep | Technical Visit

- 0815-0830 Gathering at hotel lobby for departure to technical visit
- 0830-1630
  - 1) Technical Visit to Demonstration farms of Chitosan PGP in Kulon Progo District, Yogyakarta
  - 2) Cultural visit to Batik handmade Workshop

Day 4, 6 Sep | I-Concern (International Conference on Nuclear Capacity Building, Education, Research and Applications, NEXPO Symposium) at Royal Ambarrukmo hotel, Yogyakarta

- 0730-0815 Registration
- 0815-0900 Coffee Break
- 0900-1000 Opening Ceremony of NEXPO and Group Photo
- 1000-1115 Plenary Session (Keynote Speeches)
- 1115-1300 Lunch Break and EXPO
- 1300-1400 Poster Session and EXPO
- 1400-1415 Presentation by FNCA invited speaker in parallel session 1 & 2  
Prof Hanawa Takehisa & Dr Phiriyatorn Suwanmala
- 1415-1715 Oral presentation by FNCA participants and others NEPO participants in parallel session 1, 2, 3 & 4  
\*Allocated time for presentation is 10 min and for discussion is 5 min.
- 18.30-2000 **Welcome dinner hosted by NEXPO**

Day 5, 7 Sep | Workshop at Royal Ambarrukmo Yogyakarta

- 0900-1010 **Session 6: Presentation on Achievements, Obstacles and Planning**
  - 1) Presentation (10 min x 7 groups)**
  - Chair: Dr Okazaki Shin**
  - a) Degraded Chitosan for Animal Feeds

	<ul style="list-style-type: none"> <li>b) Hydrogel for Medical Application</li> <li>c) Environmental Remediation</li> <li>d) Synergistic Effect of Plant Growth Promoters (PGP), Super Water Absorbents (SWA) and Biofertilizer (BF)</li> <li>e) PGP and SWA, Inclusive of Process Development</li> <li>f) Mutation Breeding of BF Microbe Using Gamma Irradiation</li> <li>g) Sterilization of BF Carrier Using Gamma Irradiation</li> </ul>
1010-1030	<i>Morning Tea (20 min)</i>
1030-1130	<p><b>Session 7: Summary</b></p> <p><b>Facilitator: Ms Charito Aranilla</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Correction</li> <li>2) Adoption</li> </ul>
1130-1140	<p><b>Session 8: Closing</b></p> <p><b>Chair: Dr Md Kamruzzaman Pramanik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Closing Remarks   Mr. Totti Tjiptosumirat (5 min)</li> <li>2) Closing Remarks   Dr Okazaki Shin, Japan (5 min)</li> </ul>
1140-1240	<i>Lunch (60 min)</i>
1300	Get Ready for Departure

## 2.3 気候変動科学(CCS)プロジェクト国際会合

### 2.3.1 CCS 議事録

#### **Minutes of FNCA 2019 Workshop on Climate Change Science Project**

October 7<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup>, 2019  
Kyoto and Tsuruga, Japan

#### [Workshop]

The 3rd meeting ran from 7th to the 10th of October 2019 and started in Kyoto.

The Kyoto part of the meeting was opened by Mr. WADA (FNCA Coordinator for Japan) and Dr. NAGAI (Project Leader of Japan).

The meeting started by giving all countries the opportunity to present the status of the research and progress against their national project plans. China was unavailable for this meeting, due to visa requirements. Kazakhstan and Mongolia gave general overviews of their countries and a more detailed project plan developed during the week.

After the country presentations there were discussions about progress in general, dependencies on equipment, analysis and facilities in other countries. An inventory was made by each country about the type and level of support needed to progress further. An agreement was reached about plans, level of support and sharing of information. We also discussed the possibility of a new FNCA Environmental Change / food provenance & security project and countries were asked to give a brief overview of their current activities and or interest in the topics. This will be further developed during the year and indicated to the FNCA coordinators meeting in early 2020.

On Wednesday the group travelled to Tsuruga for the next section of the meeting. In Tsuruga on Thursday 10th October, a public seminar series was organised at the Wakasa Wan Energy Centre. Representatives from Japan, Indonesia, Philippines and Australia gave an overview of the application of nuclear techniques to Climate Change studies.

After the lunch break the group moved to the Fukui prefectural Varve Museum, near famous Suigetsu Lake. The group received a special welcome and tour of the new museum from lead researcher Professor NAKAGAWA Takeshi.

#### [Discussion]

A couple of discussion were held during the Kyoto meeting with regard to the initiation of climate projects in Kazakhstan and Mongolia. After a lengthy discussion and negotiation between countries, it was decided that both countries will set up a small pilot study on soil organic carbon. Both countries will receive the protocols for fieldwork and sampling (see plans below for sharing instructions) from Japan, as well as

technical assistance and analysis of samples for stable isotopes and radiocarbon. Both national projects are pilot studies and do not involve a large number of samples to be analysed (initially). It was agreed to identify field sites as soon as possible and provide the samples to Japan, in time for reporting at the next FNCA project meeting.

There was a good discussion about information sharing between countries. The following topics will be shared with the group in the form of PDF protocols, instructions and or lists:

- Sampling guidelines – for soil sampling as well as sampling archives of climate change (Japan and Australia to deliver before end of 2019).
- Sample preparation and analysis – (Japan: Radiocarbon, stable isotopes and carbon analysis, Australia: Microfossil slide preparation, XRF sample preparation) (Japan and Australia to deliver before end of 2019).
- Open access – List of open access software, satellite imaging and imaging analysis software, etc. All countries to contribute by end of 2019 (to be shared early 2020).
- Data interpretation – A part of the final meeting in the Philippines (October 2020) will be dedicated to data interpretation. Suitable lead scientists will be asked to demonstrate step by step the scientific method used to move from data collection to data interpretation and final conclusions (to be announced early 2020).

#### [Plans]

Plans are underway to formulate a draft plan for a new project to be submitted to FNCA for consideration beyond 2020. A new project would include Environmental Change, Impacts and Food Security.

### 2.3.2 CCS 参加者リスト

#### List of Participants FNCA 2019 Workshop on Climate Change Science Project

October 7<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup>, 2019  
Kyoto and Tsuruga, Japan

Country	Name	Position and Organization
Australia	Prof. Henk HEIJNIS	Leader Environment, ANSTO Environment Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)
Bangladesh	Dr. Mohammad Amirul ISLAM	Principal Scientific Officer, Reactor and Neutron Physics Division, INST, AERE, Savar Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
Indonesia	Dr. Ali Arman LUBIS	Center for Isotopes and Radiation Application (CIRA) National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Japan (Coordinator)	Mr. Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan (Advisor)	Dr. NAMBA Hideki	FNCA Advisor of Japan
Japan	Dr. NAGAI Haruyasu	Division Head, Environmental and Radiation Sciences Division Nuclear Science and Engineering Center Japan Atomic Energy Agency (JAEA)"
Japan	Dr. MATSUZAKI Hiroyuki	Head, Professor Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator (MALT) The University Museum The University of Tokyo

Country	Name	Position and Organization
Japan	Dr. LIANG Naishen	Header of Global Carbon Cycle Research Section Center for Global Environmental Research (CGER) National Institute for Environmental Studies (NIES)
Japan	Dr. IDE Taro	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan	Mr. TANNO Yusuke	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan	Ms. TANAKA Fumiyo	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Kazakhstan	Ms. Oxana LYAKHOVA	Head of Department for Development of Environmental Monitoring System National Nuclear Center (NNC) of Kazakhstan
Malaysia	Prof. Fatimah Binti Md YUSOFF	Department of Agriculture, Faculty of Agriculture University Putra Malaysia
Mongolia	Ms. Sarantuya GANJUUR	Director of Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment Ministry of Environment and Tourism
Philippines	Dr. Angel T. BAUTISTA VII	Science Research Specialist Nuclear Analytical Techniques Application Section Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)
Thailand	Dr. Sasiphan KHAWEERAT	Nuclear Scientist Nuclear Research and Development Division Thailand Institute of Nuclear Technology, Thailand (TINT)



Country	Name	Position and Organization
Vietnam	Mr. BUI Dac Dung	Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)

### 2.3.3 CCS プログラム

## **Program of FNCA 2019 Workshop on Climate Change Science Project**

October 7<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup>, 2019  
Kyoto and Tsuruga, Japan

### **Day 1 (Monday, 7 October)**

Venue: Kyoto Shigakuk Kaikan

- |             |  |
|-------------|--|
| 10:00       | Opening of the workshop  |
|             | 1. FNCA office – FNCA coordinator of Japan   |
|             | 2. Dr. NAGAI Haruyasu, Japan Atomic Energy Agency  |
|             | 3. Representative from ANSTO (Prof. Hendrik Heijnis)   |
|             | 4. Group photos  |
| 10:30-11:00 | Morning tea break  |
| 11:00-11:30 | FNCA climate project chair – meeting expectations (Australia)  |
|             | 1. Introduction of participants  |
|             | 2. Meeting arrangements & FNCA Administration  |
| 11:30-12:30 | Country presentations on progress against project plan, including highlighting the nuclear and isotopic techniques used so far in their studies          |
| 12:30-13:30 | Lunch  |
| 13:30-15:00 | Country presentations on progress against project plan, including highlighting the nuclear and isotopic techniques used so far in their studies (Cont'd) |
| 15:00-15:30 | Afternoon tea break  |
| 15:30-17:00 | Country presentations on progress against project plan, including highlighting the nuclear and isotopic techniques used so far in their studies (Cont'd) |

### **Day 2 (Tuesday, 8 October)**

Venue: Kyoto Shigakuk Kaikan

- |             |  |
|-------------|--|
| 9:30-10:00  | Country presentations on progress against project plan, including highlighting the nuclear and isotopic techniques used so far in their studies (Cont'd) |
| 10:00-10:30 | Morning tea break  |
| 10:30-11:00 | Country presentations on progress against project plan, including highlighting the nuclear and isotopic techniques used so far in their studies (Cont'd) |
| 11:00-11:30 | “Analysis of nuclide records in natural archives by Accelerator Mass Spectrometry - Geochemistry of Anthropocene –” by Prof. Matsuzaki, Univ. of Tokyo   |

- 11:30-12:00 Discussion of country reports and possible road-blocks to progress, international collaborations and future directions for the remainder of the project: short term, including work plans; longer term such as establishing a cooperative framework for the project beyond 2020
- 12:00-13:00 Lunch
- 13:00-14:00 Discussion of country reports and possible road-blocks to progress, international collaborations and future directions for the remainder of the project: short term, including work plans; longer term such as establishing a cooperative framework for the project beyond 2020 (Cont'd)
- 14:00-14:30 Afternoon tea break

### **Day 3 (Wednesday, 9 October)**

Venue: Kyoto Shigakuk Kaikan

- 9:00-10:00 Editing of meeting report, agreement on timeframes and delivery of third year outcomes, including decision on the venue of the third project meeting
- 10:00-10:30 Morning tea break
- 10:30-11:30 Editing of meeting report, agreement on timeframes and delivery of third year outcomes, including decision on the venue of the third project meeting (Cont'd)
- 11:30- Lunch and move to Tsuruga

### **Day 4 (Thursday, 10 October)**

Venue: The Wakasa Wan Energy Research Center (WERC) and Verve Museum

- 10:00-11:10 Open Seminar on "Climate Change Science"
1. Remarks by the representative of Fukui Prefectural Government and representative of MEXT
  2. Climate change research: examples from the South: Australia
  3. Studies on the carbon storage at mangrove forests: Indonesia
  4. Reconstruction of the marine environment change by analysis on corals: Philippines
  5. Studies on the soil carbon storage and its response to the climate change: Japan
- 12:00-13:00 Lunch
- 13:00-14:00 Move to Verve Museum
- 14:00-15:00 Visit to Verve Museum

## 2.4 放射線治療(RO)プロジェクト国際会合

### 2.4.1 RO 議事録

#### **Minutes of FNCA 2019 Workshop on Radiation Oncology Project**

October 28<sup>th</sup> – 31<sup>st</sup>, 2019

Suzhou, China

(1) Following the agreement at the 20<sup>th</sup> Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA) Coordinators Meeting, the FNCA FY2019 Workshop on Radiation Oncology was held from October 28th to 31st 2019, in Suzhou, China. The meeting was co-organized by Soochow University, The First Affiliated Hospital of Soochow University, China Atomic Energy Authority (CAEA) and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT). Representatives from 10 FNCA member countries, namely Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Korea, Malaysia, Mongolia, Philippines, Thailand and Vietnam participated in the workshop.

#### **Opening Ceremony**

(2) Prof. Jianping CAO, Professor/ Director, School of Radiation Medicine and Protection, Soochow University moderated the session.

Prof. Weichang CHEN, Vice President of Soochow University welcomed the participants with his remarks.

Mr. WADA Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan gave the opening address.

Ms. TANAKA Fumiyo, MEXT gave her remarks and introduced MEXT programs for Asian countries.

Prof. KATO Shingo, the Project Leader of Radiation Oncology Project gave his remarks and introduced the project.

(3) Introduction of individual participants followed.

(4) The agenda was adopted and chairpersons and rapporteurs were selected. (Annex 1)

(5) Dr. Zhen ZHANG, Director of Department of Radiotherapy, Shanghai Cancer Hospital Affiliated Fudan University gave a special lecture entitled “Neoadjuvant Chemoradiation of Locally Advanced Rectal Cancer - Shanghai Cancer Center Experience”.

(6) Dr. Jiade LU, Shanghai Proton and Heavy Ion Center gave another lecture entitled “The Use of Carbon Ion Radiation Technology in the Treatment of Cancer - Experience at the Shanghai Proton and Heavy Ion Center”.

#### **Session 1: Prospective Observational Study of 3D-Image Guided Brachytherapy for Locally Advanced Cervical Cancer (CERVIX-V)**

(7) Dr. OKONOGI Noriyuki presented the protocol of Cervix-V.

(8) Newly registered clinical data of CERVIX-V was presented by representatives of each participating country with the following number of patients: Bangladesh (0), China (6, n=3), Indonesia (7, n=1), Japan (5, n=3), Kazakhstan (4, n=2), Korea (0), Malaysia (6, n=5), Mongolia (2, n=2), Philippines (8, n=4), Thailand (0) and Vietnam (0). The total number of the patients was (38, n=20).

(9) Discussion on CERVIX-V followed. Follow-up will be patterned to Cervix-IV at six months. Detailed discussion on follow-up method and timing was made and it was presented by Dr. OKONOGI at a later session. The change will be incorporated in the protocol and will be communicated to the member countries at a later date.

### **Session 2: QA/QC for 3D-IGBT**

(10) Dr. Jie NI, Medial Physicist of the First Affiliated Hospital of Soochow University spoke on Current Status of 3D-IGBT in China. She briefly introduced three aspects for 3D-IGBT: the overview of infrastructure, the content of QA/QC, and the relevant development and research in China.

(11) Mr. NAKAJI Taku, Technical Staff, Quality Control Section, QST Hospital, Quantum Medical Science Directorate, National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology (QST) introduced the methodology of audit for 3D-IGBT. He introduced the developed phantom jigs and the audit program for 3D-IGBT.

(12) Dr. MIZUNO Hideyuki, Principal Researcher, Quality Control Section, QST hospital of Quantum Medical Science Directorate QST, reported on the results of on-site audit for 3D-IGBT of the two institutions in Saitama Medical University International Medical Center (Japan) and Korea Institute of Radiological & Medical Sciences (Korea) this year.

### **Session 3: Phase II Study of Neoadjuvant Chemotherapy with Concurrent Chemoradiotherapy (CCRT) for Nasopharyngeal Carcinoma (NPC-III)**

(13) Dr. MAKISHIMA Hirokazu, Attending Physician, Clinical Research Group of Pelvic Tumor Department of Charged Particle Therapy Research National Institute of Radiological Sciences (NIRS), QST introduced the protocol of NPC-III, a Phase II Study of Neoadjuvant Chemotherapy with CCRT for Nasopharyngeal Carcinoma (NPC). Recent clinical data was presented by representatives of each participating country.

An update on the clinical data of NPC-III was presented by representatives of each participating country with the following number of patients: Bangladesh ( 1 ), China ( 9 ), Indonesia ( 12 ), Japan ( 0 ), Kazakhstan ( 0 ), Korea ( 0 ), Malaysia ( 31 ), Mongolia ( 0 ), Philippines ( 7 ) Thailand ( 0 ) and Vietnam ( 60 ). The total number of the patients was ( 120 ) and new cases were ( 10 ).

(14) Dr. MAKISHIMA then presented the summary of the follow-up data. The total number of the patients enrolled to this study were 120. Registration for NPC III has been completed. Median age was 46 years.

Median overall treatment time of radiotherapy was 53 days (range 44 – 232 days). Radiotherapy treatment interruption of more than 14 days occurred in 22% of patients mainly due to machine breakdown, re-planning and toxicities.

All patients had 2-3 cycles of neoadjuvant chemotherapy with a compliance rate of 100%, while concurrent chemotherapy had 74% compliance rate for 4 cycles or more.

(15) In the neoadjuvant phase, grade 3/4 hematological toxicities occurred in leucopenia 3%, neutropenia 10%, anemia 2% of patients and non-hematological toxicities like nausea/vomiting 5%, fatigue 1%. During the concurrent phase, grade 3/4 hematological toxicities occurred in leucopenia 14%, neutropenia 9%, anemia 4%, thrombocytopenia 2% of patients and non-hematological toxicities like dermatitis 11%, mucositis 20%, dry mouth 9%, nausea/vomiting 7%, weight loss 14 %, fatigue 11%. Late toxicities of grade 3 occurred in 10% of patients, mainly salivary gland and subcutaneous tissue toxicities.

The efficacy results showed a 3-year survival outcomes: OS was 76% (NPC-I 57%), loco-regional failure was 25% (NPC-I 14%), distant metastasis free rate (DMF) was 83% (NPC-I 69%) and PFS was 72% (NPC-I 63%). This is matched with NPC-I results (CCRT and adjuvant chemotherapy) where there were significant differences on: lower loco-regional control, reduced distant metastases, and better overall survival in NPC-III (induction chemotherapy and CCRT).

(16) An open discussion on the clinical data followed.

#### **Session 4: Phase II Study of Hypofractionated Radiotherapy for Breast Cancer (Postmastectomy Radiation Therapy (PMRT)/BREAST-I)**

(17) Dr. KONO Sawa, Assistant Professor, Department of Radiation Oncology, Tokyo Women's Medical University introduced and reviewed the protocol of PMRT/BREAST-I.

(18) The clinical data of Phase II Study of Postmastectomy Radiation Therapy (PMRT) was presented by representatives of each participating country. The following number of patients were reported: Bangladesh ( 84 ), China ( 13 ), Indonesia ( 0 ), Japan ( 14 ), Kazakhstan ( 20 ), Korea ( 0 ), Malaysia ( 0 ), Mongolia ( 26 ), Philippines ( 18 ), Thailand ( 0 ) and Vietnam ( 46 ). From 2013 to 2019, 221 patients were registered and completed the protocol treatment. Enrollment is now completed.

(19) Prof. KARASAWA Kumiko, Dean of School of Medicine, Professor and Chair, Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Tokyo Women's Medical University presented the summary of the PMRT clinical data of breast cancer cases. Overall ( 221 ) patients in HF-PMRT arm were enrolled in 78 months. Evaluable number of patients was ( 221 ).

(20) An open discussion on the clinical data followed.

(21) Patients enrolled from Vietnam have higher grade skin toxicities than other institutions. It was suggested to recheck the patients' photo from follow-up examinations.

## **Session 5: Phase II Study of Hypofractionated Radiotherapy for Breast Cancer (Whole Breast Irradiation / BREAST-I)**

(22) Dr. KONO Sawa introduced and reviewed the protocol of Whole Breast Irradiation (WBI) / BREAST-I.

(23) The clinical data of Phase II Study of WBI was presented by representatives of each participating country. The following numbers were reported: Bangladesh ( 31 ), China ( 6 ), Indonesia ( 16 ), Japan ( 136 ), Kazakhstan ( 14 ), Korea ( 10 ), Malaysia ( 0 ), Mongolia ( 3 ), Philippines ( 0 ), Thailand ( 14 ) and Vietnam ( 0 ). Total number of WBI patients was 229.

(24) Prof. KARASAWA Kumiko presented the summary of the WBI clinical data of breast cancer cases (229 patients / 230 breast lesions). The clinical stages are as follows: 0 (37), 1A (121), 1B (3), 2A (49), 2B (20). The acute adverse effects of skin G0 (8%), G1 (80%), G2 (10%), G3 (2%); subcutaneous tissue G0 (90%), G1 (10%). The late adverse effects of skin G0 (80%), G1 (20%); subcutaneous tissue G0 (90%), G1 (10%); breast G0 (92%), G1 (8%); lung G0 (98%), G1 (2%). In summary, there was no higher than grade 2 toxicity in this study. The cosmetic outcome were excellent (107), good (1) and poor (3) in patients with more than 3 years follow-up. With the median follow-up of 35 months, there were 1 loco-regional recurrence, 3 distant metastases, 2 breast cancer deaths and 2 intercurrent deaths.

(25) An open discussion on the clinical data followed. The grade 3 skin toxicity in one institute was acknowledged and treatment process and toxicity grading will be reviewed.

(26) Enrollment completed in 2018. Some data correction will be needed before manuscript submission. This report will include early results within 3-year follow-up. Long term follow-up is still needed to confirm the final results. We are expected to follow-up the patients every six months for 5 years and yearly thereafter.

## **Session 6: Review of Project Activities and Future Plan**

(27) Prof. KATO Shingo presented the review of the project activities for the last 3 years. The summaries are described in the Annex X. In brief,

### **1) Phase II study “Cervix-IV”**

The treatment outcomes of concurrent cisplatin chemotherapy and prophylactic extended-field radiotherapy for locally advanced cervical cancer was reported. Between 2007 and 2016, 106 patients were enrolled in the study. The results were assessed in 2018. The incidence of acute grade 3 hematological toxicity was 21%, and that of late grade 3 gastrointestinal toxicity was 3%. The 2-year local control, progression-free survival, and overall survival rates for all patients were 96%, 78%, and 90%, respectively. The results indicated that concurrent chemotherapy and prophylactic extended-field radiotherapy is feasible and effective for patients with locally advanced cervical cancer in East and Southeast Asia. The results of the study was published in the International medical journal in 2019.

### **2) 3D image-guided brachytherapy (3D-IGBT) for cervical cancer**

A preliminary survey was carried out on 3D image-guided brachytherapy (3D-IGBT) for cervical cancer from 2014 to 2016. A prospective observational study on 3D-IGBT for locally advanced cervical cancer has been initiated in 2018. The feasibility, safety, and efficacy of the treatment are evaluated. Hands-on training session was held in Dhaka during the FNCA WS in 2018 because training of medical personnel is very important to implement 3D-IGBT in FNCA member countries. Many local doctors, medical physicists and FNCA delegates participated in the training session. Training session at the WS will be continued as one of the main activities of the project.

### 3) Nasopharyngeal Carcinoma

A phase II clinical study “NPC-III” was conducted to evaluate the safety and efficacy of the combination of neoadjuvant chemotherapy followed by concurrent chemoradiotherapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma. Between 2010 and 2019, a total of 120 patients were enrolled in the study. Tentative results showed a comparable overall survival rate compared to NPC-I trial which utilized adjuvant chemotherapy. Toxicity of the protocol treatment was considered tolerable.

### 4) Breast Cancer

4-1) A phase II clinical study was conducted to evaluate the safety and efficacy of postoperative hypofractionated radiotherapy for early-stage breast cancer after breast conserving surgery (BCT). From 2013 to 2018, 229 patients completed protocol treatment. The tentative results showed favorable treatment outcomes with acceptable acute and late toxicities. Follow-up of the patients for at least 5 years is necessary to evaluate the treatment outcomes.

4-2) A phase II clinical study was conducted to evaluate the safety and efficacy of postoperative hypofractionated radiotherapy for locally advanced breast cancer after total mastectomy (PMRT). From 2013 to 2019, 221 patients completed protocol treatment. The tentative results showed favorable treatment outcomes with acceptable acute and late toxicities.

### 5) Physical QA/QC of Radiotherapy

A survey on quality assurance (QA) and quality control (QC) of external beam radiotherapy was carried out using glass dosimeters among the facilities of the FNCA MSs with the dose audit of 16 facilities (46 beams) in 11 countries. The results of the survey were published in the international medical journal in 2017.

Regarding QA/QC of 3D-IGBT, a new sophisticated phantom for the audit of 3D-IGBT has been designed and manufactured. Then, on-site audits have been conducted at the participating institutes from 2019.

(28) Prof. KATO also proposed the future activities in the next 3 years as follows.

He proposed to continue all projects going on in the present for over 3 years (2020-2023) because long follow-up for the patients treated under current protocols is very important to determine the long term efficacy of the treatment protocols.



He also proposed new program on palliative radiotherapy for bone metastases in the FNCA member countries and participants discussed on the implementation of the project. Dr. Kullathorn THEPHAMONGKHOL proposed a project on brain metastases. It was agreed that a preliminary survey will be conducted on bone and brain metastases. Questionnaires will be sent to the FNCA member countries. Prof. WAKATSUKI Masaru proposed a collaboration with IAEA RCA project on palliative radiotherapy.

(29) The next workshop is tentatively scheduled to be held in Mongolia on September 22-25, 2020.

#### **Session 7: Drafting the Workshop Minutes**

Participants reviewed workshop discussion.

(30) The draft of the minutes was submitted by rapporteurs, discussed and amended. The draft of the minutes will be circulated after the workshop and finalized.

(31) Prof. KATO Shingo summarized and commented on the sessions on the 1st and 2nd days. He also expressed expectation towards the next 2 days.

#### **Session 8: Technical Visit 1**

(32) Workshop participants conducted a Technical Visit to the First Affiliated Hospital of Soochow University.

#### **Session 9: Open Lecture**

(33) The Open Lecture was held at the First Affiliated Hospital of Soochow University.

(34) Dr. Xiaoting XU moderated the session and Prof. Gang CHEN, Vice Director of The First Affiliated Hospital of Soochow University welcomed the audience with his opening remarks.

(35) Mr. WADA Tomoaki gave a lecture about the FNCA. He introduced its overview and spoke about the on-going 7 projects' activities and achievements.

(36) Dr. Wonil JANG, Chief, Department of Radiation Oncology, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences (KIRAMS) gave a lecture on the Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) for Lung Cancer.

(37) Dr. Juying ZHOU, Director of the Department of Radiation Oncology of the First Affiliated Hospital of Soochow University delivered a lecture on Overview of Present Status of Cancer Epidemiology and Radiotherapy in China.

(38) Prof. OHNO Tatsuya, Professor and Chairperson, Department of Radiation Oncology, Gunma University Graduate School of Medicine spoke on Particle Beam Therapy.

(39) Lastly, "Special Lecture on 3D-IGBT for Cervical Cancer" was moderated by Prof. Rey H. DE LOS REYES and was delivered by Prof. Masaru WAKATSUKI and Dr. Noriyuki OKONOGI. They introduced the overview of 3D-IGBT, presented case studies and instructed the treatment method.

(40) Prof. KATO Shingo made comments on the Open Lecture.

#### **Session 10: Technical Visit 2**

(41) The participants moved to Shanghai and conducted a Technical Visit to Shanghai Proton & Heavy Ion Center.

#### **Session 11: Technical Visit 3**

(42) The participants visited Shanghai Cancer Hospital affiliated Fudan University as well.

## 2.4.2 RO 参加者リスト

### List of Participants FNCA 2019 Workshop on Radiation Oncology Project

October 28<sup>th</sup> –31<sup>st</sup>, 2019

Suzhou, China

Country	Name	Affiliation
Bangladesh (PL)	Dr A.F.M. Kamal Uddin	MBBS, DTCD, MD Assistant Professor Radiation Oncology National Institute of ENT
Bangladesh	Dr Parvin Akhter Banu	Chief Consultant Delta Medical College & Hospital Limited
Bangladesh	Dr Sharif Ahmed	Junior Consultant Department of Radiation Oncology United Hospital Limited
China (PL)	Prof Cao Jianping	Professor / Director School of Radiation Medicine and Protection, Soochow University
China	Dr Xu Xiaoting	Vice-Director of the Department of Radiation Oncology The First Affiliated Hospital of Soochow University
Indonesia	Dr Dyah Erawati	Head of Radiotherapy Division Dr. Soetomo General Academic Hospital
Indonesia	Mr Bambang Haris Suhartono	Medical Physicist of Radiotherapy Department Dr. Soetomo General Academic Hospital
Japan (Coordinator)	Mr Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan (PL)	Prof Kato Shingo	Professor Department of Radiation Oncology International Medical Center Saitama Medical University
Japan	Dr Nakano Takashi	Managing Director Quantum Medical Science Directorate National Institute of Radiological Sciences(NIRS) National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology(QST)

Country	Name	Affiliation
Japan	Prof Karasawa Kumiko	Dean of School of Medicine Professor and Chair Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Tokyo Women's Medical University
Japan	Prof Ohno Tatsuya	Professor and Chairperson Department of Radiation Oncology, Gunma university Graduate School of Medicine
Japan	Prof Wakatsuki Masaru	Professor Department of Radiology, Jichi Medical University
Japan	Dr Mizuno Hideyuki	Principal Researcher Quality control section, QST hospital, Quantum Medical Science Directorate, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
Japan	Dr Okonogi Noriyuki	Chief Physician Clinical Research Group of Pelvic tumor Department of Charged Particle Therapy Research National institute of Radiological Sciences(NIRS) Quantum Medical Science Directorate National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology(QST)
Japan	Dr Makishima Hirokazu	Attending Physician Clinical Research Group of Pelvic tumor Department of Charged Particle Therapy Research National institute of Radiological Sciences(NIRS) Quantum Medical Science Directorate National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology(QST)
Japan	Dr Kono Sawa	Assistant Professor, Department of Radiation Oncology Tokyo Women's Medical University
Japan	Mr Nakaji Taku	Technical Staff Quality Control Section, QST Hospital, Quantum Medical Science Directorate, National Institute for

Country	Name	Affiliation
		Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
Japan (MEXT)	Ms Tanaka Fumiyo	Administrative Researcher International Nuclear and Fusion Energy Affairs Division Research and Development Bureau Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan (Secretariat)	Ms Yamada Ai	Nuclear Safety Research Association (NSRA)
Korea	Dr Kum Bae Kim	Senior Researcher (Medical Physicist) Korea Institute of Radiological & Medical Sciences (KIRAMS)
Korea	Dr Wonil Jang	Chief, Department of Radiation Oncology Korea Institute of Radiological & Medical Sciences (KIRAMS)
Malaysia (PL)	Dr Lau Fen Nee	Senior Consultant / Clinical Oncologist, National Cancer Institute, Putrajaya, Malaysia
Malaysi	Mr Muzzamer Bin Mohammad Zahid	Medical Physicist, National Cancer Institute, Putrajaya, Malaysia
Mongolia (PL)	Dr Uranchimeg Tsegmed	Head of Division of Non-surgical Oncology National Cancer Centre of Mongolia
Mongolia	Dr Erdenetuya Yadamsuren	Radiation Oncologist of Radiotherapy Department, National Cancer Center of Mongolia
The Philippines (PL)	Dr Miriam Joy Calaguas	Chairman Department of Radiology Philippine General Hospital  Active Consultant St.Luke's Medical Center

Country	Name	Affiliation
The Philippines	Dr Rey H. De Los Reyes	Dean, Institute of Medicine Far Eastern University – Nicanor Reyes Medical Foundation (FEU-NRMF)  Consultant, Section of Gynecologic Oncology, Jose R. Reyes Memorial Medical Center (JRRMMC)
The Philippines	Dr Jaemelyn Marie O. Fernandez	Visiting Consultant Jose R. Reyes Memorial Medical Center (RRMMC)
The Philippines	Dr Jerickson Abbie Sapno Flores	Visiting Consultant Jose R. Reyes Memorial Medical Center (RRMMC)
Thailand	Dr Kullathorn Thephamongkhon	Lecturer, Siriraj Hospital Mahidol University
Thailand	Mr Pitchayut Nakkrasae	Medical Physicist, Siriraj Hospital, Mahidol University
Vietnam (PL)	Dr Nguyen Cong Hoang	Radiation Oncologist Head of General Radiation Oncology Department National Cancer Hospital (K Hospital)
Vietnam	Dr To Anh Dung	Head of Breast and Gynecology Radiotherapy Department, National Cancer Hospital (K Hospital)

## 2.4.3 RO プログラム

### Program of FNCA 2019 Workshop on Radiation Oncology Project

October 28<sup>th</sup> – 31<sup>st</sup>, 2019

Suzhou, China

**Day 1    Mon, 28th October 2019    Place: Garden Hotel Suzhou**

- |                    |   |
|--------------------|---|
| 08:40-09:00        | Registration  |
| <b>09:00-10:40</b> | Opening Ceremony /Moderator: Prof Cao Jianping, (China), PL of China  |
| 09:00-09:05        | Welcome Address /Prof. Chen Weichang. Vice president of Soochow University (China)  |
| 09:10-09:15        | Opening Address/ Mr.Wada Tomoaki(Japan), FNCA Coordinator of Japan  |
| 09:15-09:25        | Remarks and Introduction of MEXT programs/ Ms. Tanaka Fumiyo(Japan) MEXT  |
| 09:25-09:30        | Remarks/ Prof. Kato Shingo (Japan) Project Leader   |
| 09:30-09:40        | Introduction of Members   |
| 09:40-09:50        | Adoption of Agenda  |
| 09:50-10:15        | <u>Special Lecture 1</u> : Neoadjuvant chemoradiation of locally advanced rectal cancer-Shanghai Cancer Center Experience/<br>Dr. Zhang Zhen (China), Director of Department of Radiotherapy,<br>Shanghai Cancer Hospital affiliated Fudan University |
| 10:15-10:40        | <u>Special Lecture 2</u> : The Use of Carbon Ion Radiation Technology in the Treatment of Cancer-Experience at the Shanghai Proton and Heavy Ion Center/ Dr. Lu Jiade (China),<br>Shanghai Heavy Particle Cancer Center                               |
| 10:40-10:45        | Group Photo   |
| 10:45-11:00        | Coffee Break  |
| <b>11:00-13:00</b> | <b>Session 1: Prospective Observational Study of 3D-Image-guided brachytherapy for Locally Advanced Cervical Cancer (CERVIX-V)</b>  |
- Co-chairs: Dr. A.F. M Kamal Uddin & Dr. Sharif Ahmed (Bangladesh)
- 1) Introduction of 3D-IGBT / Dr. Okonogi Noriyuki (Japan)
- 2) Country Report on Progress of the clinical study from each country
- Bangladesh
- China
- Indonesia
- Japan
- Kazakhstan
- Korea

Malaysia  
Mongolia  
The Philippines  
Thailand  
Viet Nam

3) Summary of the clinical data / Dr. Okonogi Noriyuki (Japan)

4) Discussion

13:00-14:00      Lunch

**14:00-15:20      Session 2: QA/QC for 3D-IGBT**

Co-chairs: Dr. Kum Bae KIM (Korea) & Mr. Pitchayut Nakkrasae (Thailand)

14:00-14:20      1) Current Status of 3D-IGBT in China / Dr. Jie Ni (China)

14:20-14:40      2) Methodology of audit of 3D-IGBT / Mr. Nakaji Taku (Japan)

14:40-15:00      3) Results of on-site audit / Dr. Mizuno Hideyuki (Japan)

15:00-15:20      4) Discussion

15:20-15:40      Coffee Break

**15:40-17:00      Session 3: Phase II Study of Chemoradiotherapy for NPC (NPC-III)**

Co-chairs: Dr. Parvin Akther Banu(Bangladesh) & Dr. Dyah Erawati (Indonesia)

1) Introduction of the protocol / Dr. Makishima Hirokazu (Japan)

2) Presentation on the clinical data from each country

Bangladesh

China

Indonesia

Japan

Kazakhstan

Korea

Malaysia

Mongolia

The Philippines

Thailand

Vietnam

3) Summary of the clinical data / Dr. Makishima Hirokazu (Japan)

4) Discussion

Night      Dinner



**Day 2    Tue, 29th October 2019    Place: Garden Hotel Suzhou**

**09:00-10:00      Session 4: Phase II Study of Hypofractionated Radiotherapy for Breast Cancer  
(PMRT /BREAST-I)**

Co-chairs: Dr. Erdenetuya Yadamsuren (Mongolia) & Dr. Nguyen Cong Hoang (Vietnam)

1) Review and introduction of the Protocol / Dr. Kono Sawa (Japan)

2) Presentation on the clinical data of PMRT from each country

Bangladesh

China

Indonesia

Japan

Kazakhstan

Korea

Malaysia

Mongolia

The Philippines

Thailand

Vietnam

3) Summary of the clinical data/ Prof. Karasawa Kumiko(Japan)

4) Discussion

**10:00-11:00      Session 5: Phase II Study of Hypofractionated Radiotherapy for Breast Cancer  
(WBI /BREAST-I)**

Co-chairs: Dr. Kullathorn Thephamongkhon (Thailand) & Dr. Uranchimeg Tsegmed (Mongolia)

1) Review and introduction of the Protocol / Dr. Kono Sawa (Japan)

2) Presentation on the clinical data of WBI from each country

Bangladesh

China

Indonesia

Japan

Kazakhstan

Korea

Malaysia

Mongolia

The Philippines

Thailand

Vietnam

3) Summary of the clinical data / Prof. Kumiko Karasawa (Japan)

4) Discussion

11:00-11:20 Coffee Break

**11:20-12:20 Session 6: Review of Project Activities and Future Plan**

Co-chairs: Prof. Nakano Takashi(Japan) &Prof. Miriam J Calaguas (Philippines)

1) Review and 3 year's Evaluation/Prof. Kato Shingo (Japan)

12:20-13:30 Lunch

**13:30-15:30 Session 6: Review of Project Activities and Future Plan (Continuation)**

Co-chairs: Prof. Nakano Takashi (Japan) &Prof. Miriam J Calaguas (Philippines)

1) Future plans / Prof. Kato Shingo (Japan)

2) Proposal for New Clinical Study / Prof. Kato Shingo & Dr. Makishima Hirokazu (Japan)

15:30-15:50 Coffee Break

**15:50-17:30 Session 7: Drafting the Workshop Minutes**

Co-chairs: Dr. Lau Fen Nee (Malaysia)& Dr. Jaemelyn Marie F. Ramos (Philippines) & Dr. Jerickson Abbie Sapno Flores (Philippines)

1) Drafting WS Minutes

2) Summary of WS and Closing Remark / Prof. Kato Shingo (Japan) , Project Leader

Night Dinner

**Day 3 Wed, 30th October 2019 Place: The first Affiliated Hospital of Soochow University**

09:00 Leave from Hotel

**09:30-11:00 Session 8 : Technical Visit at The First Affiliated Hospital of Soochow University**

11:00-12:30 Lunch

**13:30-16:00 Session 9: Open Lecture**

Moderator: Dr. Xu Xiaoting (China)

13:30-13:40 Opening Remarks/ Prof. Gang CHEN, Vice Director of the first affiliated hospital of Soochow University (China)

13:40-14:00 1) Introduction and Overview of FNCA / Mr. Wada Tomoaki (Japan)

14:00-14:20 2) SBRT for Lung Cancer/ Dr. Wonil Jang (Korea)

14:20-14:40 3) Overview of Present Status of Cancer Epidemiology and Radiotherapy in China/ Dr. Juying Zhou (China)

14:40-15:00 4) Particle Beam Therapy/ Prof. Ohno Tatsuya (Japan)

15:00-15:40 5) Special Lecture on 3D-IGBT for Cervical Cancer

Moderator: Prof. Rey H. De Los Reyes (Philippines)

-Overview of 3D-IGBT/ Prof. Wakatsuki Masaru(Japan)

-Presenting case studies/ Dr. Okonogi Noriyuki (Japan)

-Comment/ Prof. Wakatsuki Masaru (Japan)

15:40-15:50      Closing Remark/ Prof. Kato Shingo (Japan)

Night      Dinner

**Day 4    Thu, 31<sup>st</sup> October 2019, Place: Shagnhai Proton & Heavy Ion Center & Fudan University  
Shanghai Cancer Center**

08.00 am Move to Shanghai

**10:00-12:00      Session 10: Technical Visit at Shanghai Proton and Heavy Ion Center**

12:30-13:30      Lunch

**14:00-16:00      Session 11: Technical Visit at Fudan University Cancer Center**

Move to Hotel

**Day 5    Fri, 1st November 2019**

Leave from Shanghai

## 2.5 研究炉利用(RRU)プロジェクト国際会合

### 2.5.1 RRU 議事録

#### **Minutes of FNCA 2019 Workshop on Research Reactor Utilization Project**

September 10<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2019

Kurchatov, Kazakhstan

The Research Reactor Utilization (RRU) project workshop was held over three days at the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC RK).

The first half of the first day (Sep. 10) was allocated to a plenary session in which the individual project leaders of Japan provided an overview of the current projects of RRU and Neutron Activation Analysis (NAA) and referred to several major issues of the workshop. Parallel sessions were held from the second half of the first day to the second day (Sep. 11). In the RRU sessions, Nuclear Science including Human Resource Department (HRD) were presented sequentially by individual participating countries. In the NAA sessions, each country presented progress on the activities related to air pollution and mineral resources and then discussed a number of topics, including linkages with end-users. The detailed content of the discussions was summarized for each of the two groups, RRU and NAA. On the third day (Sep. 12), the technical visit to IVG.1M reactor was held in the morning and the Open Seminar was held at NNC in the afternoon.

#### **[Parallel session (RRU)]**

##### **RRU-1: Nuclear science including HRD**

##### **Lead speech 1 “Utilization of the NNC RK Research Reactors” (Mr. Valentine Tskhe, Kazakhstan)**

The presentation started from the history of the establishment of NNC RK and provided facts about the history of the NNC RK Research Reactors (RR). Next the main technical parameters of the NNC RK RRs were presented and test benches for the different kinds of experiments that have been successfully carried out were described. The current state of the NNC RK RRs conversion process was also briefly described. Following that, the HRD activity of the NNC RK was addressed, including domestic and international cooperation programs. The NNC RK's plans are noted at the end of this report.

##### **Lead speech 2 “Research the processes of Nuclear Reaction Energy Conversion to Optical Radiation Energy” (Mr. Kuanysh Samarkhanov, Kazakhstan)**

The presenter described in stages the technology of creating a surface source of high-energy tritium ions and  $\alpha$ -particles, formed as a result of a nuclear reaction of the interaction of the  $^6\text{Li}$  isotope with thermal neutrons. Further, the presenter described the scheme of reactor experiments to study the spectral-luminescent characteristics of nuclear-excited plasma. Results of thermal-physical calculations of the experimental cell of the ampoule device with lithium CPS were presented. In-pile experiments that were carried out in the field of neutron radiation of the IVG 1M stationary reactor were described. The results of in-pile experiments were

presented, showing the applicability of lithium for nuclear excitation of luminescence of noble gas mixtures. Plans for the laboratory were noted at the end of the report.

### **Lead speech 3 “Experiments for studying materials of fission and fusion reactors” (Mr. Arman Miniyazov, Kazakhstan)**

An overview was presented of R&D projects conducted at the Institute of Atomic Energy, a branch of NNC RK. The results of a study of the interaction of fuel materials with the structure and refractory materials of a fission reactor were shown. In addition, the main results of research in support of fusion development, in particularly KTM Tokamak and ITER project, were presented. These included: a) high Li-burnup irradiation tests of a ceramic tritium breeder; 2) development of nuclear energy in the Republic of Kazakhstan; and 3) studies to justify the tritium safety of fusion devices.

### **Australia**

Nuclear science is the key area for ANSTO to benefit all Australians and the global community in several areas, including human health. As per organizational priorities, ANSTO supplies nuclear medicine and drives innovation in health. ANSTO has a focus on developing knowledge, providing information through a Discovery Centre to school children, school teachers and members of the public, as well as offering training opportunities through internships for graduates, graduate recruitment, and post-graduate and post-doctoral research programs. ANSTO is creating an innovation center called ‘nandin’ adjacent to the Lucas Heights campus, a three-tiered development project which will comprise a deep technology incubator, a graduate center and a high technology industry component.

### **Bangladesh**

The Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC) is carrying out nuclear based research and development programs aimed at the peaceful use of nuclear energy. The Institute of Nuclear Science and Technology (INST) is performing research in various fields, including material science, biological science, and environmental science. INST also provides various services such as analytical, health physics, radioactive waste management, and radioisotope supply to many users; as such it is contributing to the development of the country. BAEC has different programs regarding nuclear education and training to contribute in the development of human resource. Bangladesh is looking forward to installing a new multipurpose research reactor, as well as refurbishing the existing RR to enhance its service life and utilization.

### **Indonesia**

Utilization of the Siwabessy Multipurpose Reactor is not only for research activities in nuclear science and technology but also for a wide range of nuclear irradiation activities such as irradiation for the production of radioisotopes, gem stone coloration, NAA, and neutron beam applications such as neutron diffractometry and neutron spectrometry. A dedicated center for education and training is focused on increasing the competence of personnel in the field of nuclear science and technology, particularly related to safety and also to reactor utilization. Activities planned for the future include experiments to develop production methods

for the semiconductor industry and also experiments in the Power Ramp Test Facility used for non-destructive tests for Pressurized Water Reactor (PWR) type nuclear fuel test rods.

### **Japan**

We continue to perform instrumental NAA (INAA) and radiochemical NAA (RNAA) of various kinds of samples in geo- and cosmo-chemistry and in material science, achieving nuclear science outcomes. As for topics in NAA, the Hayabusa2 project and our contribution to that was introduced, and then we reviewed our methods to treat such a tiny samples as were obtained in that project. Additionally, Rh-105 and Lu-177 as RIs for medical use were produced by using the Kyoto University Reactor and the amounts produced were compared with those produced by electron linear accelerators.

### **Kazakhstan**

Kazakhstan operates three research reactors and one critical facility. Two RR are located in Kurchatov and the other one is in Almaty. Utilization of the RRs covers a lot of nuclear research activities, both applied and fundamental. The RRs in Kurchatov (called as IVG1.M and IGR) are basically utilized for a wide application of materials research. The RR in Almaty (called WWR-K) is a multipurpose research reactor and utilized for RI production, NAA, neutron radiography, materials research and nuclear science and technology. Kazakhstan operates a Cyclone-30 accelerator which allows it to produce several types of RI. Kazakhstan plans to build a nuclear power plant (NPP) so structural materials research and HRD are both very important. Also, the development and construction of a high-resolution diffractometer at WWR-K reactor is being planned. Based at the Center for Nuclear Medicine and Biophysics of the Institute of Nuclear Physics, work is ongoing to expand the list of produced radioisotopes.

### **Malaysia**

The Malaysia Nuclear Agency operates a 1 MW TRIGA reactor that comes with several irradiation facilities to cater for neutron science research, radioisotopes production, elemental analysis, education and training activities. The current research reactor is low power and has been operated for more than 35 years. The maximum neutron flux is  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The reactor operates 4 days per week and around 8 hours per day. Despite that, the reactor is able to operate for long-run short-lived radioisotopes production at 18 to 24 hours continuously, upon request. Planning for a new research reactor is underway, to extend applications such as Mo production and enable advanced neutron beam experiments to be performed, thus expanding benefits. The new research reactor program aims to meet the growing demands for greater utilization and advanced applications.

### **Mongolia**

In this presentation, main organizations of nuclear science in Mongolia and their research activities were introduced. Recent results from the Nuclear Research Center of the National University of Mongolia were presented. Utilization of the two medical linear accelerators (high and low energy) at the National Cancer Center of Mongolia was reported. In the last decade, cancer mortality has been increasing in Mongolia. One of the many factors leading to this problem has been a shortage of medical isotope supply.

## Thailand

In recent years, Thailand progressed most in the improvement of the neutron imaging facility. An external collimator was installed, and the L/D ratio was increased to 60. The rotating stage was redesigned to accommodate an object up to 10 kg. Standard samples are being analyzed to determine the capability of the new setup. Another major development is the decommissioning of neutron diffraction facility. A new facility is planned as a collaborative project between TINT and KAERI. For HRD, TINT and SLRI co-organize neutron-synchrotron science camps. However, an efficient users engagement program is still needed. The project for a new research reactor has been proposed to the government; public acceptance is still an issue.

## Vietnam

The Dalat Nuclear Research Reactor (DNRR) with a nominal power of 500 kW is today the only one in Vietnam. After the reconstruction of the reactor in late 1983, it played a key role in nuclear science and its applications utilizing nuclear reactors for more than 35 years. Applications included: a) Production of radioisotopes and radiopharmaceuticals for medical use, radioisotopes for agriculture and industry application; b) Irradiation of samples for neutron activation analysis NAA; c) Neutron beam research (PGNAA, NR, nuclear data measurement, etc.); and d) Training of reactor operators, practical work for students and teachers from universities and also a program related to the development of human resources for a new research reactor.

## RRU-2: General Discussion

The discussion aimed to assess the last three years of RRU projects amongst different member countries. A survey was conducted earlier by sending a questionnaire to all member countries. The summary of the survey results are presented in the table below:

(1=very poor, 2=poor, 3= average, 4= good, 5=very good)

	AUS	BGD	CHN	IDN	KAZ	KOR	MYS	MNG	PHL	THA	VNM	total
b. RI production 2017, 2018	4	4	4	5	4	N/A	5	5	5	3	5	44
d. Nuclear Science 2019	4	3-4	3	4	-	-	4	4	-	4	4	30.5
e. BNCT, NR 2018	3	3 for NR	4	3	4	N/A	4	5	3	4	4	37
f. Material Research 2018	3	2	2	4	4	N/A	4	3	4	4	4	34
g. New Research Reactor 2017	4	3	4	4	3	N/A	5	5	5	5	4	42
h. HRD 2019	4	3-4	3	4	4	-	4	3	-	4	5	34.5

Participants from the member countries added further comments on the survey. Based on the survey results and discussion, the preference of the projects is as below:

1. RI production

2. New Research Reactor
3. BNCT, NR
4. HRD
5. Material Research
6. Nuclear Science

Projects related to RI production are the most preferred by participating countries. However, the following sub-topics may need to be addressed along with the topic as per member's comments:

- a) Radiation safety
- b) Patient safety
- c) Purification
- d) QA and QC

All participants acknowledged that participation in the FNCA RRU projects has been beneficial in different aspects e.g. capability and weakness for individual members, technical difficulties, sharing knowledge for improvement, and visiting nuclear infrastructure for practical experience and networking.

### **RRU-3: Future plan of the RRU group for the next phase**

The RRU projects has 8 themes and we have discussed all the topics during the last three years, 2017-2019. The topics were quite broad and therefore it was agreed to focus on specific topics in the next phase for better outcomes and improvements in knowledge.

The advantage of having this workshop every year is to discuss new themes in the RRU and to provide networking opportunities.

- a. Neutron Activation Analysis (NAA)
- b. Isotope Production including new isotopes
- c. Neutron Scattering
- d. BNCT, NR
- e. Material Research
- f. New Research Reactor
- g. Human Resource Development

The participants from member countries discussed several topics and then specific topics in the Nuclear Science field were considered for adoption in the next 3-year phase of the workshops. Possible topics included: Neutron Activation Analysis (NAA) for environmental materials; Isotope Production for new isotopes including the purification for pharmaceutical use; QA/QC for practical use; and possible cooperation on new research reactors, some other topics and/or news if any.

### **[Parallel session (NAA)]**

#### **NAA-1: Activities related to air pollution and mineral resources**

The new phase (Phase 5) began in 2015, starting with two sub-projects, namely air pollution and mineral resources. In the air pollution project, suspended particulate matter (SPM) samples, especially so-called PM<sub>2.5</sub>, are being collected in participating countries and the air pollution level at those sites is being monitored by analyzing these SPM samples by NAA and other methods. In the mineral resources project,



minerals containing useful elements such as rare earth elements (REEs) and U are being analyzed by NAA and other methods, demonstrating the effectiveness and utilization of NAA in evaluating the presence and quality of mineral resources.

For the preparation of country reports, the Japanese project leader asked participants to include the following topics in their presentations:

- 1) Evaluation of progress for the last 12 month period in comparison with the initial plan.
- 2) Difficulties and how those may have been overcome.
- 3) Outstanding outcomes for the project(s).
- 4) Efforts for strengthening linkages with end-users and any projects developed with end-users.

## **1) Air pollution**

### **Indonesia**

An air particulate matter (APM) study has been carried out from 2015 to 2019 at the Bandung City sampling site. Three important parameters of APM (mass fraction, key element, and profile of selected element) have been presented. Time series of mass concentration have been obtained for the fine and coarse fractions over the period. The analysis of key elements was discussed for soil, vehicle and biomass sources. Elemental concentrations of S, Fe, K, and Zn were also presented and discussed.

### **Japan**

Through the collection and elemental analysis of SPMs, an evaluation of air quality in Kumatori, Osaka, is in progress. SPMs (PM<sub>2.5</sub>) are collected using a Multi-Nozzle Cascade Impact (MCI) sampler. The collection started on 29 May 2018 and is continuing. The SPM samples collected are analyzed using NAA (*k<sub>o</sub>*-method) and 24 elements have been quantified. Determination of the sources of SPMs is in progress.

### **Malaysia**

Malaysia has continued to sample a site twice a week to collect fine (PM<sub>2.5</sub>) and coarse particles (PM<sub>2.5-10</sub>). Positive Matrix Factorization (PMF) solution for samples collected in the period 2012-2017 identified 5 source factors each for the fine particles (motor vehicles, secondary sulfate, biomass burning, soil and road dust) and coarse particles (motor vehicles 1, motor vehicles 2, industrial chlorine, soil and soil construction).

### **Mongolia**

In Mongolia, environmental analysis including air pollution and soil pollution were implemented by NAA and other related methods. Results of studies show that pollution levels are 4-10.7 times higher than standard values of air quality and soil quality. A recommendation was made to develop a new NAA method for APM filter analysis and to improve the bio-monitoring technique using NAA.

### **Vietnam**

Under the MEXT program, a researcher was trained in the collection and analysis of SPM for air pollution studies at the Kyoto University Research Reactor (KUR), Japan. In collaboration with KAERI, Korea, the irradiation and measurement of PM's samples have been carried out in the Dalat research reactor. A Ministry

of Science and Technology (MOST) project on “*Air quality and environmental impact assessment of coal-fired power plants*” has been proposed for 2021-2022.

## **2) Mineral resources**

### **Australia**

Routine measurements for Australian companies include the determination of the homogeneity of gold in new reference materials and the determination of chlorine at different stages in titanium processing flowsheets. A new project to measure REEs in air sampling filters is being negotiated.

### **Bangladesh**

Sand from St Martin's Island was analyzed and no heavy minerals have been identified. In the last 12 months we have participated in two IAEA inter-comparison exercises and analyzed major, minor and REEs in samples of soil, sediment, spice etc. by NAA. We have increased our activities in the field of academic research, human resource development, collaborations and linkages with end-users.

### **Kazakhstan**

The ITER facility is under construction in the south of France and includes the building of a Tokamak complex (B11). For safety, a correct assessment of the activation of the concrete is required to determine radiation dose rates after shutdown and decommissioning of the reactor. We are studying the chemical composition of concrete use INAA methods in order to make the assessment.

### **Malaysia**

We continue to provide analytical services, especially to the Regulatory body (AELB), the mineral processing industry, mineral traders and Lynas (Malaysia) Sdn. Bhd.

### **Thailand**

The preliminary results of two element concentrations in standard reference material (Montana Soil 2711a) were reported using  $k_0$ -neutron activation analysis ( $k_0$ -NAA). There were some errors that need to be understood and corrected. However, we will continue to develop  $k_0$ -NAA for more precision and for multi-element determination.

### **Vietnam**

REEs in 5 samples requested by customers have been analyzed by  $k_0$ -NAA. The MOST project on “*Investigation of REEs in archaeological samples in Cat Tien and Oc Eo-Ba The site*” using  $k_0$ -INAA and ICP-MS will be implemented in 2020-2021. The corrections for the variation of neutron flux in the aluminum can and the dead-time for short-lived isotopes in Cyclic Neutron Activation Analysis (CNAA) have been determined.

## **NAA-2: General Discussion**

### **1) SPM sub-project**

There was discussion of the SPM programs that have been implemented in participating countries. Good data have been obtained and at least one joint journal paper is being considered for publication in 2020.

However, some limitations of NAA for this application have become apparent. One limitation is that NAA cannot measure some key elements such as Pb, Si and S. More importantly, the turnaround time for filter papers to be analyzed is too long and laboratories cannot cope with the large number of samples that are routinely collected. Nevertheless, there is value in measuring certain important elements (such as As, K, Br and Sb) using NAA and a number of countries have made a commitment to continuing their measurement program into the future.

## **2) REE/Mineral Resources sub-project**

Although a suitable Japanese reference material for a new laboratory inter-comparison could not be found, participating countries continued to undertake measurements of mineral samples. Some activities included participation in the certification of reference materials for the mining industry, analysis of mineral processing products, and sediment analysis in areas affected by industrial pollution.

### **NAA-3: Future plan of NAA group for the next phase**

There was common agreement that the focus of the proposed next phase of the NAA sub-project should be Environmental Monitoring. This unifying theme has several advantages. There is a broad range of potential end-users including government agencies, regulators, industry and researchers. The topic can include samples related to: airborne pollution; soil, river, lake and sea contamination; food and nutrition; industrial activity; erosion processes; etc. Through the application of multiple measurement techniques, participants will be able to identify key areas where NAA offers clear analytical advantages. Positive communications linking NAA to beneficial environmental outcomes can be expected.

### **NAA-4: Conclusions**

1. The NAA group has continued to work towards meeting planned objectives and some significant advances have been achieved.
2. Improvements in maintaining and growing productive linkages with end-users have continued.
3. Two sub-projects, air pollution and mineral resources, will be completed in the current phase, ending in March 2020.
4. It has been proposed that the next phase of the NAA sub-project, starting in April 2020, should be on the topic of Environmental Monitoring.

## 2.5.2 RRU 参加者リスト

### **List of Participants** **FNCA 2019 Workshop on Research Reactor Utilization Project**

September 10<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2019  
Kurchatov, Kazakhstan

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Affiliation</b>
Australia (RRU PL)	Mr Moshiul Alam	Senior Technical and Product Specialist, Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)
Australia (NAA PL)	Dr John Bennett	Research Infrastructure Platform Leader - Biosciences, Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)
Bangladesh (RRU)	Dr Rabeya Akhter	Principal Scientific Officer, INST, AERE, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
Bangladesh (NAA PL)	Dr Kamrun Naher	Chief Scientific Officer, Reactor & Neutron Physics Division, INST, AERE, Bangladesh Atomic Energy Commission
Indonesia (RRU PL)	Mr Heru Umbara	Director, Center for Multi Purpose Reactor, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Indonesia (NAA PL)	Mr Sutisna	Researcher, Center for Science and Technology of Advanced Materials, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Japan (Coordinator)	Mr Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan (Advisor)	Dr Namba Hideki	FNCA Advisor of Japan

Country	Name	Affiliation
Japan (MEXT)	Mr Tanno Yusuke	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan (RRU PL)	Prof Ohtsuki Tsutomu	Professor, Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University
Japan (RRU)	Dr Sekimoto Shun	Assistant Professor, Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University
Japan (NAA PL)	Prof Ebihara Mitsuru	Professor, Waseda University
Japan (Secretariat)	Ms Inokoshi Chiaki	International Affairs and Research Department, Nuclear Safety Research Association (NSRA)
Kazakhstan (RRU PL)	Mr Asset Shaimerdenov	Head of Laboratory of Atomic Energy Safety Issues, Institute of Nuclear Physics
Kazakhstan (RRU)	Mr Valentine Tskhe	Head of Group, Laboratory for Reactor Fuel Testing, National Nuclear Center (NNC)
Kazakhstan (RRU)	Mr Kuanysh Samarkhanov	Engineer, Laboratory for Interchannel Tests, National Nuclear Center (NNC)
Kazakhstan (RRU)	Mr Arman Miniyazov	Head of Laboratory for Testing Materials under Fusion Reactor Conditions, National Nuclear Center (NNC)
Kazakhstan (NAA)	Ms Irina Prozorova	Head of Laboratory of Neutron Physics, Institute of Atomic Energy, National Nuclear Center (NNC)

Country	Name	Affiliation
Malaysia (RRU PL)	Dr Julia Abdul Karim	Senior Research Officer, Malaysian Nuclear Agency
Malaysia (NAA PL)	Ms Shamsiah Abdul Rahman	Senior Research Officer, Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia)
Mongolia (RRU)	Dr Myagmarjav Odsuren	Researcher, National University of Mongolia
Mongolia (NAA)	Dr Damdinsuren Bolortuya	Researcher, Nuclear Research Center, National University of Mongolia
Thailand (RRU)	Dr Kanokporn Boonsirichai	Head of Nuclear Research Section, Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT)
Thailand (NAA PL)	Mr Jatechan Channuie	Nuclear Scientist, Nuclear Research and Development Division, Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT)
Vietnam (RRU PL)	Mr Duong Van Dong	Director, Center for Research and Production of Radioisotope, Nuclear Research Institute (NRI), Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)
Vietnam (NAA PL)	Dr. Tran Tuan Anh	Researcher, Nuclear Research Institute (NRI), Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)

### 2.5.3 RRU プログラム

## **Program of FNCA 2019 Workshop on Research Reactor Utilization Project**

September 10<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2019

Kurchatov, Kazakhstan

Host Organization: National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT)

Date: September 10-12, 2019

Venue: National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

### **[Day 1: Tuesday, 10 September]**

#### **Workshop: Plenary session**

- 09:00-09:15      **Opening Session**
- Welcome address: Prof. Erlan Batyrbekov, FNCA Coordinator of Kazakhstan
  - Opening remarks: Mr. Wada Tomoaki, FNCA coordinator of Japan
  - Introduction of participants
  - Group photo
- 09:15-10:15      **Plenary-1: Overview of the FNCA projects and Major Issues of the Workshop**
- RRU group: Prof Ohtsuki Tsutomu, Japan
  - NAA group: Prof Ebihara Mitsuru, Japan
  - NAA group: Prof Ebihara Mitsuru, Japan

#### **Workshop: Parallel session (RRU)**

- 10:30-12:00      **RRU-1: Country report on nuclear science including HRD**
- Note: Country report should include following points:
- Basics and/or progress in nuclear science in recent years
  - Application of nuclear science
  - Future plans and others
- 1. Country report and discussion**
- Chair: Indonesia
- Lead speech: Mr. Valentine Tskhe, Kazakhstan
  - Australia, Bangladesh
- 12:00-13:00      Lunch Break
- 13:00-14:30      **2. Country report and discussion**
- Chair: Vietnam
- Lead speech: Mr. Kuanysh Samarkhanov, Kazakhstan
  - Indonesia, Japan, Malaysia

- 14:30-15:00 Coffee Break
- 15:00-16:30 **3. Country report and discussion**  
Chair: Australia  
 - Lead speech: Mr. Arman Miniyazov, Kazakhstan  
 - Mongolia, Thailand, Vietnam
- 16:30-17:00 **4. General discussion**

**Workshop: Parallel session (NAA)**

- 10:30-12:00 **NAA-1: Activities related to air pollution and mineral resources**  
Note: Country report should include following points:  
 1) Progress for the last 12 month period, comparing the initial plan and the degree of achievement  
 2) Any difficulties and how were those difficulties overcome?  
 3) Outstanding outcomes for the project(s).  
 4) Linkages with end-users; projects developed with end-users?
- 1. Country report and discussion**  
Chair: Malaysia  
 - Australia, Bangladesh
- 12:00-13:00 Lunch Break
- 13:00-14:30 **2. Country report and discussion**  
Chair: Bangladesh  
 - Indonesia, Kazakhstan, Malaysia
- 14:30-15:00 Coffee Break
- 15:00-17:00 **3. Country report and discussion**  
Chair: Indonesia  
 - Japan, Mongolia, Thailand, Vietnam

**[Day 2: Wednesday, 11 September]**

**Workshop: Parallel session (RRU)**

- RRU-1: Country report on nuclear science including HRD (continued)**
- 09:00-10:30 **4. General discussion**  
Chair: Japan
- 10:30-11:00 Coffee Break
- 11:00-12:00 **RRU-2: Future plan of RRU group for the next phase**  
Chair: Japan
- 12:00-13:00 Lunch Break
- 13:00-15:00 **RRU-3: Drafting of Minutes**  
Chair: Japan/Australia

**Workshop: Parallel session (NAA)**



09:00-10:30     **NAA-1: Activities related to air pollution and mineral resources (continued)**

**4. General discussion**

Chair: Japan/Australia

10:30-11:00     Coffee Break

11:00-12:00     **NAA-2: Future plan of NAA group for the next phase**

Chair: Japan/Australia

12:00-13:00     Lunch Break

13:00-14:30     **NAA-3: Drafting of Minutes**

Chair: Japan/Australia

**Workshop: Plenary session**

15:30-17:00     **Wrap up session**

- Report of RRU Minutes and Discussion
- Report of NAA Minutes and Discussion
- Future plan of RRU project for the next phase
- Closing Remarks by Dr. Namba Hideki, FNCA advisor of Japan

**[Day 3: Thursday, 12 September]**

**Technical Visit**

09:30-12:00     IVG.1 M reactor complex

**FNCA Open Seminar "Research Reactor Utilization"**

14:30-14:40     Registration

14:40-14:45     Opening remarks

- Mr. Sergey Berezin, Deputy Director General of RSE NNC RK

14:45-15:00     Keynote Speaker 1: Mr. Tanno Yusuke, MEXT, Japan

International Nuclear Cooperation and Support for Asian Countries

15:00-15:30     Keynote Speaker 2: Mr. Wada Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan

Overview and progress of FNCA

15:30-16:00     Keynote Speaker 3: Prof. Ebihara Mitsuru, Waseda University, Japan

Application of NAA and PGA to meteorites and geological samples

16:00-16:20     Coffee Break

16:20-16:50     Keynote Speaker 4: Dr. Rabeya Akhter, BAEC, Bangladesh

Production of medically important radioisotope in Bangladesh and its prospect with new research reactor plan

16:50-17:20     Keynote Speaker 5: Dr. Julia Abdul Karim, Malaysian Nuclear Agency, Malaysia

Radiation Safety and Control in Radioisotopes Production at PUSPATI TRIGA Reactor

17:20-17:50     Question and Discussion

## 2.6 放射線安全・廃棄物管理(RS&RWM)プロジェクト国際会合

### 2.6.1 RS&RWM 議事録

# Minutes of FNCA 2019 Workshop on Radiation Safety and Radioactive Waste Management Project

October 1<sup>st</sup> – 3<sup>rd</sup>, 2019

Hanoi, Vietnam

## 1) Outline of Workshop

i) <b>Date</b>	October 1 <sup>st</sup> -3 <sup>rd</sup> , 2019
ii) <b>Venue</b>	Silk Path Hotel Hanoi
iii) <b>Host Organizations</b>	Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT)
iv) <b>Participants</b>	29 from 11 countries (Australia, Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, Philippines, Thailand and Vietnam). Listed in <b>Annex 2</b>
v) <b>Program</b>	Annex 1

## 2) Program

The FNCA 2019 Workshop on Radiation Safety and Radioactive Waste Management (RS&RWM) was held from 1st to 3rd October 2019, at Silk Path Hotel Hanoi. The workshop was jointly organised by the Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM) and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan.

Twenty-nine (29) representatives involved in policymaking, regulatory, operations, and research and development for radiation safety and radioactive waste management from 11 FNCA member countries attended the workshop, namely Australia, Bangladesh, China, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, Philippines, Thailand and Vietnam. The program of the workshop is attached as **Annex 1**. The list of participants is attached in **Annex 2**.

### Session 1: Opening

Dr Tran Ngoc Toan, Vice President of VINATOM and FNCA Coordinator of Vietnam, and Mr Wada Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan delivered a welcoming speech. Both of them emphasized the importance of radioactive waste management in the member countries, and wished the success of workshop.

### Session 2: Introduction

First, Mr Wada gave a presentation on the FNCA Achievements in 2018 and 2019. In his presentation, he introduced the Conclusion and Recommendation issued by the 19<sup>th</sup> FNCA Coordinators Meeting in which the project is suggested to assist member countries with safety improvement of low level radioactive waste management. Next, Dr Le Thi Mai Huong, FNCA Project Leader of Vietnam presented on the Vietnam's achievements in FNCA activities. In her presentation, she explained that through the activities of the FNCA RS&RWM project, especially the exchange of information and experiences among participating countries, understanding of, and correct information about, Radioactive Waste Management has been promoted, especially the technical viewpoints. Finally, Prof Kosako Toshiso, Project Leader of Japan reported the overview of the project, in which he explained about the consolidated report to be discussed during the workshop. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session 3: Country Report**

Eleven (11) countries reported their progress, challenges, problems and future plans for low-level radioactive waste repository or repositories. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session4: Presentation on NORM/TENORM and Disposal of Disused Sources**

Dr Nguyen Ba Tien from Vietnam and Dr Norasalwa Binti Zakaria from Malaysia gave a presentation on NORM/TENORM and Disposal of Disused Sources respectively. Dr Tien presented on the NORM/TENORM disposal in Vietnam and introduced the issue of managing tailings wastes in uranium processing experiments, in mining and processing beach sand minerals, in exploiting and processing rare earth ores and in ZOC (Zircon) production. Dr Norasalwa presented on the disposal of disused sources in Malaysia referring to their borehole disposal system, and explained site location and site characterization, safety assessment and plans for the years to come. The summary of each report is attached in **Annex 3**.

### **Session 5: Introduction of MEXT HRD Program and FNCA Activities Related to the RS&RWM Project**

Dr Namba Hideki, FNCA Advisor of Japan introduced the MEXT Human Resources Development programs and FNCA activities related to the Radiation Safety and Radioactive Waste Management project. According to Prof Kosako, some fellows have attained important positions of their institutes after completing the program including chair or president of the organization. Furthermore, six people among the workshop participants had an experience to join the MEXT HRD program before. The summary of report is attached in **Annex 3**.

### **Session 6 & 7: Group Discussion on Consolidated Report**

The participants discussed on the general part and specific part of consolidated report. The revised drafts of the general and specific reports from each country are to be sent to Ms Tanida by Fri 29 November 2019. The report will come from the FNCA project leaders in each country.

### **Session 8: Poster Session**

Eleven (11) countries introduced their hot topics using a poster. The title of each poster is as shown below:

- Australia: ILW Storage at the Australian LLW Repository: Centralised Storage of Intermediate Level

#### Waste Benefits and Disadvantages

- Bangladesh: Activities of Health Physics & Radioactive Waste Management Unit (HPRWMU)
- China: Unbalanced Development between Nuclear Energy Boom and Radioactive Waste Disposal Site Construction in China
- Indonesia: Study on Inventory and Repository of TENORM Waste from Tin Industry in Bangka Island Indonesia
- Japan: Decontamination Evaluation and Reduction of Radioactive Waste / JAEA actions in Fukushima
- Kazakhstan: Kazakhstan's Activities on Bringing the Territory of the Former Semipalatinsk Test Site to Safety State
- Malaysia: Strengthening Radiation Safety and Facilities Upgrade at the National Radioactive Waste Management Center
- Mongolia: Radiation Safety and Radioactive Waste Management in Mongolia
- Philippines: Radioactive Waste Management in the Philippines Moving Forward
- Thailand: Radioactive Waste Management Support Megaport Initiative at Laem Chabang Seaport Thailand
- Vietnam: A Study on a Closed-Loop Production of Coagulants and Pigments without Secondary Wastes from Vietnam Red Mud

The summary of each report is attached in **Annex 3**.

#### **Session 9: Three-year Evaluation**

As this year is the final year of the current phase, the participants discussed the completion of the final report of the project activities of 6<sup>th</sup> phase (2017-2019). Results of the discussion will be reflected in the three-year evaluation document. The proposals for the 7<sup>th</sup> phase, which will be starting from next year (2020), were discussed. The discussion was mainly around NORM/ TENORM management for the next phase. These documents are to be returned to Ms Tanida by Fri 20 December 2019.

#### **Session 10: Summary**

This summary was adopted by the participants.

#### **Session 11: Closing**

With the closing remarks from Dr Le Thi Mai Huong, Prof Kosako Toshiso and Dr Namba Hideki, the workshop was officially declared closed.

#### **Technical Visit to Yen Phu Rare Earth JSC, Yen Bai Province**

A technical visit to Yen Phu Rare Earth JSC, Yen Bai Province was conducted on 3<sup>rd</sup> October.

#### **Annex 3. Session Summary**

##### **Session 2: Introduction**

- 1) **FNCA Achievements 2018-2019 (Mr Wada Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan)**

The 19<sup>th</sup> FNCA Ministerial Level Meeting agreed to further accelerate FNCA activities not only by accelerating the existing R&D themes but also by adopting possible future R&D themes of a wide spectrum of interests from the member countries.

the 20<sup>th</sup> FNCA Coordinator Meeting agreed to begin new phases of the Radiation Safety and Radioactive Waste management with the comments that since almost all countries in the FNCA are planning to construct low-level radioactive waste disposal facilities/long-term storage facilities, this project should assist the member countries with safety improvement related to radiation safety and radioactive management of low-level radioactive waste repositories. Member states are now intensively discussing safety assessment, regulatory and operational system preparation, site selection, and confidence building.

## **2) Vietnam's Achievements in FNCA Projects (Dr Le Thi Mai Huong, Institute for Technology of Radioactive & Rare Elements (ITRRE))**

Through the activities of the FNCA RS&RWM project information and experience exchanges among participating countries, improved understanding and correct information on Radioactive Waste Management has been promoted, especially the technical viewpoint, such as radiation safety techniques, radioactive waste treatment technology, operation of radioactive waste storage and so forth.

According to the evaluation of IAEA experts, up to now, Vietnam has completed one of three main Milestones in the development of a National Infrastructure of Nuclear Power and are prepared for the second milestone: to put Nuclear Power Plant out to contract.

Management and treatment of radioactive waste is one of nineteen infrastructure issues which are necessary to be prepared and completed.

As future tasks, the project of constructing national storage facility of used sealed radioactive sources (borehole disposal system) and NORM/TENORM treatment and management should be tackled.

## **3) Project Overview and Goal (Prof Kosako Toshiso, the University of Tokyo)**

Member countries have various practical issues with low level radioactive waste management, for example some countries have nuclear power plants but some don't, and some country have problems of mining residues but some don't. We therefore need to be more careful when preparing the draft report. Every member country can refer to the scope variation in this report. For the preparation of "Consolidated Report on Low-level Radioactive Waste Repository", we used a standard format of index consisting of General and Specific parts. But this will be applied flexibly depending on each countries' situation. We need another one year for finalizing this year's "Intermediate Summary". From next year (2020), a new phase will be starting and NORM/TENORM was suggested as the new theme after discussion.

### **Session 3: Country Report**

## **3) Australia (Mr Duncan Kemp, Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO))**

Australia has made minimal progress on the repository over the past year. The main focus of effort has been on the economics of planning the repository, the ownership model and the legal challenges to the public consultation process. I will update the group on those challenges, the result and the impact on the

development of the repository. I will also describe the current progress being made on the inventory and how important that is to the whole exercise. As a cheap and relatively well defined task it is vitally important for the definitions of the repository.

#### **4) Bangladesh (Dr M. Moinul Islam, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC))**

In Bangladesh both sealed and unsealed radioactive wastes are generated from the use of radioactive sources in various activities which include nuclear techniques in medicine, agriculture, industry, research and education etc. The regulatory frame work relating to radioactive waste management and brief description of licensed radiation facilities are shown in the presentation. The possible sources of radioactive wastes and the percentage of waste generation from different stakeholders in the country till 2019 are shown in the presentation. Both processed and unprocessed wastes are safely stored at the Central Radioactive Waste Processing and Storage Facility (CWPSF) of Health Physics and Radioactive Waste Management Unit (HPRWMU), Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC).

A project proposal has been submitted for the strengthening of CWPSF under the Government of Bangladesh Annual Development Project (ADP) entitled 'Strengthening of Institute of Nuclear Science and Technology'. In addition, capacity build up of geological survey project of BAEC which includes site selection for waste disposal facility has been submitted to the planning commission for approval. Several challenges for the establishment of radioactive waste repository in the country are briefly addressed in the presentation as well.

#### **5) China (Mr Qin Guoqiang, China National Nuclear Corporation (CNNC))**

The Government of the People's Republic of China released a white paper titled "Nuclear Safety in China", on 3 September 2019. This white paper is to introduce China's approach to nuclear safety, elaborate on its basic principles and policies, share the concepts and practices of regulation, and clarify China's determination to promote global nuclear safety governance and the actions it has taken to achieve this.

Politics and practice on disposal of radioactive waste are described in the white paper. China implements the radioactive waste classification of: near-surface or medium-depth disposal of low- and intermediate-level radioactive waste in locations that meet the requirements of nuclear safety, and deep geological disposal of high-level radioactive waste in centralized locations.

There have been two low- and intermediate-level radioactive solid waste disposal sites in operation in China with good safety records.

The efforts for new siting of five solid LILW disposal repositories are being conducted, in provinces where multiple NPPs are located in such as Fujian, Zhejiang, Guangdong, Liaoning and Shandong. One underground laboratory for HLW geological disposal project, which sites in Beishan, Gansu province, has been approved by Chinese authority in May, 2019.

#### **6) Indonesia (Dr Dadong Iskandar, National Nuclear Energy Agency of Indonesia (BATAN))**

Indonesia has 3 research reactors (30 MW, 2 MW, and 100 kW) and radioisotopes has been applied in the various fields. In June 2019, the inventory of the radioactive source in use in Indonesia is 6,424 sources, and the number of Disused Sealed Radiation Sources (DSRS) are 3,031 DSRS for Cat. 3-5, and 34 pcs for Cat.1-2. From these DSRSs, 1102 sources have been encapsulated in 174 capsules. Two Interim Storages in CRWT

have been filled by the radioactive waste so the disposal has been one alternative. In strategic planning 2015-2019, BATAN will build Near Surface Disposal to dispose low radioactive waste and the project has been postponed. In strategic planning 2020-2024, BATAN has been planning to construct the borehole disposal for DSRS in 2022. The location of borehole disposal will be in the same location with near surface disposal. The required environmental data has been available and the characterization of the site until 100 m soil depth has been done by drilling. Host rock from 50 to 100 m is adequate for borehole, siltstone-claystone with low permeability. Design of borehole is the depth of borehole 100 m with diameter 16.5 cm, and the DSRS container will be put in the depth from 50 m until 100 m. The next activities are to making conceptual and detail designs of borehole and safety assessments during construction until post closure using suitable software.

#### **7) Japan (Mr Saito Tatsuo, Japan Atomic Energy Agency (JAEA))**

As this country report of Japan, I'll introduce here 3 topics:

1. Disposal Concept of Radioactive Waste in Japan
2. Conceptual Design of JAEA Disposal Facility
3. Preliminary Safety Assessment for Disposal

In summary, I'll report as follows;

- JAEA is promoting the disposal project of LLW generated from the nuclear energy research / medical and industrial use of radioisotope in Japan.
- JAEA is preparing Conceptual Design of Disposal Facility for the nuclear energy research / medical and industrial LLW.
- JAEA has been developing Preliminary Safety Assessment for disposal.

#### **8) Kazakhstan (Mr Yevgeniy Tur, National Nuclear Center (NNC) of the Republic of Kazakhstan)**

The main source of low-level radioactive waste in the Republic of Kazakhstan is uranium industry. Ten years ago Kazakhstan finished a large amount of work on the conservation of former uranium mines, milling facilities and remediation of their territories. Later it was discovered on some sites that protective layers created are damaged due to man-made or natural reasons. At the moment, work is carried out on restoration these layers and organization of proper control and monitoring the sites.

Many solid and liquid wastes were generated during operation of the BN-350 power reactor. There are several projects developed on management of these wastes. The solid radioactive waste treatment project proposed extraction the wastes from trenches, crushing, placing them in barrels, pressing barrels, packing briquettes into reinforced concrete non-returnable containers and cementing, sealing the container and placing containers for long-term storage. During implementation of the project on reprocessing of the liquid metal coolant: a primary coolant was cleaned of cesium by absorbers, a facility for processing the cleaned coolant into a concentrated alkaline solution was built and started, and facility for processing of alkali into a geocement stone, which is suitable for long-term safe storage, is under development.

A long-term storage project is under development. The storage is proposed for contaminated soil of the former nuclear test site's. Total volume is 100 000 m<sup>3</sup>. Beginning of the storage operation is planned after 2024.

**9) Malaysia (Dr Norasalwa Binti Zakaria, Malaysian Nuclear Agency)**

A smart investment is the investment in human capital where human capital can be easily increased through education and training. The LLW repository project in Malaysia was initiated in the year before 2011, but later was given lesser priority beginning year 2013 to give way for the Borehole Disposal Project for disposing of Disused Sealed Radioactive Sources. From 2013 till to date, there has been a big change of staff at the National Radioactive Waste Management Centre due to transfer, retirement, and/or leaving the service. Thus, it is highly critical that the new staff receive proper exposure and acquire tacit knowledge in continuing the national repository project.

The country report highlights the revised planning and timeline of the overall national repository program. During the first phase of the program which ran from 2008-2013, the focus was on the national site screening program. In the second phase (2018-2025), site evaluation and safety assessment will be the focus components. The staff training planning is presented and the main outcome from some of the training held is reported in this report.

**10) Mongolia (Ms Uranchimeg Batdelger, Nuclear Energy Commission, Government of Mongolia)**

Mongolia is a land-locked country in the Central Asia with large area of approximately 1.5 million square kilometers territory and a population of 3.23 million people. The main purpose of the paper is to assess legal environment of Mongolia for development of nuclear and radiation safety and security. The Nuclear Energy Commission (NEC) was founded in the beginning of 2015 by the Government of Mongolia under the amendment of Nuclear Energy Law. Since then, it has formulated the State Policy for Utilization of Radioactive Minerals and Nuclear Energy and the Nuclear Energy Law, regulatory law of the field. NEC is responsible for developing and implementing the national policy on the exploitation of radioactive minerals and use of nuclear energy, is responsible for coordination activities to ensure nuclear safety and radiation protection, for developing and adopting safety and security regulations, and for licensing of nuclear facilities. The activities of the General Agency For Specialised Inspection (GASI) is largely focused on the control of: the uses of radiation sources in industry, medicine and research centres, installation of portal monitors to combat illicit trafficking of nuclear and radioactive materials, the exploitation, processing, import, export and transport of radioactive minerals.

The Isotope Center operates the radioactive waste management facility, for the Nuclear Energy Commission is responsible for the safe storage of radiation sources and radioactive wastes and safe transport of radioactive materials in Mongolia. Isotope center is an object of the state protection by Governmental Resolution No 135 by Internal troops operational regulation and organizational procedure for controlling the transport.

**11) The Philippines (Ms Kristine Marie Dacallo Romalloso, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI))**



Although there is capability in managing radioactive wastes in the Philippines, there are safety and security issues that need to be addressed. For instance, there is no national policy and strategy yet on radioactive waste management. There are about 80 drums of cemented DSRS and 165 radium needles need to be reprocessed to comply with the new international and national safety standards. Also, the surrounding area of the waste facility is now heavily populated and urbanized, the security of the radioactive materials is becoming a concern. The demand for nuclear technologies increases over the years hence the volume and the types of wastes generated are also expected to increase. The current facility is only designed for interim storage of the wastes and there is no disposal facility yet. In this presentation, the proposal and current activities being done for the development of a comprehensive radioactive waste management programme in the Philippines will be discussed. Possible collaborations such in the design of processing and storage facilities, will be presented.

## **12) Thailand (Mr Witsanu Katekaew, Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT))**

Nuclear and radiation technology in Thailand can be traced back since the utilization of tele therapy radiation source for cancer treatment and diagnosis at Siriraj General hospital in 1935. Since then, this technology has been widely utilized in various sectors in Thailand, e.g., medicine, industry, research and development and education. Several nuclear and radiation facilities have been developed to serve social and economic needs, and in parallel, radiation safety and security and nuclear safeguard are enhanced and strengthened. Together with those other countries where the utilization of nuclear and radiation technology has played major roles in the society, it is inevitable that radioactive waste is generated and this should be managed safely.

The management of radioactive waste in Thailand is under the control and regulation in compliance with the Nuclear Energy for Peace Act., B.E.2559 (2016). Disposal of radioactive waste is enforced by Ministerial regulation on radioactive waste management, B.E.2561 (2018). Sources of radioactive waste in Thailand are production and utilization of radioisotopes, research reactor operation, use of sealed radiation sources, decommissioning of nuclear and radiation facility. Types of radioactive waste produced are radioactive contaminated materials, waste from disused sealed radiation source, decommissioning waste, NORM waste and spent nuclear fuel. Sustainable management of radioactive waste, the life cycle assessment and Cradle-to-Grave concept are studied. The end stage for management of radioactive waste is accountable for the safe disposal. Inventory of radioactive wastes in Thailand shows significance in types and volume and this reflects to waste disposal options and sites. Factors concerning preliminary site selection studies were reviewed, e.g., geology, earthquake, rainfall, flooding, and land use. Other factors were also considered, e.g., land-ownership and cost, waste transport, existing and future development of the area. Preliminary study results and perspectives on repository development are discussed.

## **13) Vietnam (Dr Le Thi Mai Huong, ITRRE)**

Radioactive waste in Vietnam is generated by research, industry, medical applications, research reactor operation and radiopharmaceutical production. Naturally occurring radionuclides (NORM) and technologically enhanced naturally occurring radioactive materials (TENORM) are produced in Vietnam by the mining, mineral sands processing and other resources sectors. Monitoring the radioactive elements of

these wastes, and their burial and management still proceed like those of ordinary production wastes (may take into account the dangers of chemicals...) but not much attention about radioactivity.

Vietnam has no nuclear power plants.

Now Vietnam is postponing the introduction of nuclear power to meet growing demand in electricity and to ensure energy security. The project of cooperation to build a Center for Nuclear Science and Technology (CNEST) was agreed to be implemented in an agreement between the Government of the Socialist Republic of Vietnam and the Government of the Russian Federation (signed on November 21, 2011). The focus of the project is a research reactor with an estimated capacity of about 10 MW.

So far, Vietnam has no national used radioactive sources and radioactive waste storage facility.

This presentation includes the following main contents: The Radioactive waste Management Policy; Legislation Framework; Current management of RW in Vietnam; Site selection for Low Level Radwaste Central Facility and Orientation, Challenges, Plans and Proposals in RWM in Vietnam.

#### **Session 4: Presentation on NORM/TENORM and Disposal of Disused Sources**

##### **1) NORM/TENORM (Dr Nguyen Ba Tien, VINATOM)**

The management of radioactive wastes NORM/TENORM is currently being investigated by countries around the world, especially IAEA. Vietnam has just started facilities related to NORM / TENORM, their management is still relatively new. The state management Agencies do not have specific policies related to this issue. In this paper, the current situation of waste management in this form is mentioned at mining and processing facilities containing radioactive elements in Vietnam. Specifically, the issue of managing tailings wastes in uranium processing experiments, in mining and processing beach sand minerals, in exploiting and processing rare earth ores and in ZOC (zirconium oxide chloride) production. For the waste produced from the mining industry, oil refining and processing of phosphates, produce acid phosphate processing bauxite: The waste generator and state management agencies have not yet inspected them. Monitor the radioactive elements of these wastes, and their burial and management still proceed like those of ordinary production wastes (may take into account the dangers of chemicals...) but not much attention about radioactivity. Landfills have not invested in methodical construction and are not closely monitored so it often leads to the breakdown of waste reservoir. The report also reports on the possibility of developing this type of waste in Vietnam in the near future and proposes some recommendations for the Ministry of Natural Resources and Environment, the Ministry of Science and Technology on the need to develop a substance management policy on NORM/TENORM in Vietnam to ensure safety for the environment and facilitate businesses to participate in the field of exploration, exploitation and processing of mineral resources containing radioactive elements.

##### **2) Disposal of Disused Sources (Dr Norasawa Binti Zakaria, Nuclear Malaysia)**

Disposal of waste is a sustainable action in the hierarchy of radioactive waste management to ensure protection of people, health and the environment is met. Waste disposal employs a multi-barrier concept similar to the “defence-in-depth” principle as in the nuclear power plant design. One of the methods to dispose of disused sources is the Borehole Disposal Facility. Malaysia, with strong technical assistance from the IAEA, embarked onto a project to develop this facility to dispose Category 3-5 sources in Malaysia. The project started in 2011 and recently, Malaysian Nuclear Agency as the project proponent has successfully

attained the license to construct and operate the Borehole Disposal Facility. This presentation highlights the experiences throughout the different phases of project implementation and the next line of actions to be taken to conclude the project.

#### **Session 5: Introduction of MEXT HRD Program and FNCA Activities Related to the RS&RWM Project (Dr Namba Hideki, FNCA Advisor of Japan)**

MEXT has promoted two Human Resources Development (HRD) Programs and FNCA Projects. One of the HRD programs, namely Nuclear Researchers Exchange Program (NREP), has started in 1985 and has invited Asian researchers. Now it accepts approximately 20 researchers a year and provides many training courses related to FNCA activities. Another HRD program, namely Nuclear Instructor Training Program (ITP) started in 1996 and it now accepts approximately 80 researchers a year. With regards to the FNCA project activities, Radiation Safety and Radioactive Waste Management project can cooperate with the Nuclear Security and Safeguards project, which is focusing on building an effective international mechanism for nuclear materials security in Asia, and promoting human resource development in nuclear security.

#### **Session 6 & 7: Group Discussion on Consolidated Report**

Member countries were divided into three groups and had a discussion on what contents should be incorporated in order to improve the report. The results will be reflected in their consolidated report.

#### **Session 8: Poster Session**

##### **Australia: ILW Storage at the Australian LLW Repository: Centralised Storage of Intermediate Level Waste Benefits and Disadvantages**

Australia will be providing a poster about the hot topic of Intermediate level waste storage and disposal. The Australian Government is looking for a solution for all the radioactive waste in Australia, which includes intermediate level. There are several sources of ILW, but the major source is ANSTO. With the low level waste repository design incorporating the storage of ILW, there are many political and social discussion points about storage.

- Is it appropriate to have LLW and ILW together?
- Is it appropriate to move this material twice (double handling) as the waste is transported to the site and then to somewhere else in a few decades?
- As most of it is at ANSTO, is there any benefit to moving it across the country when it is safe and secure now?
- Should the material be stabilised or fully conditioned for disposal?
- How can it be conditioned when we don't know what the disposal concept is for ILW?
- What are appropriate disposal mechanisms for ILW?
- Is the waste safer or more hazardous than LLW?
- What is the best way to transport ILW?

The poster will state the current state of the debate around ILW in Australia

##### **Bangladesh: Activities of Health Physics & Radioactive Waste Management Unit (HPRWMU)**

Various R & D activities on radiation applications have been conducted for the peaceful uses of nuclear energy in Bangladesh. Radiation is being utilised in industry, agriculture, and medical treatment purposes. R & D on radiation applications BAEC covers utilisation of the research reactor, radiation processing and technology, application of radioisotopes, food Irradiation etc. To ensure the protection of man and the environment, at present & in future, from the hazards of ionising radiations associated with Radiation Sources and Radioactive Wastes, Health Physics and Radioactive Waste Management Unit (HPRWMU) of BAEC conducting activities in different areas. The activities relating to Environmental Radioactivity Monitoring, Radioactive Waste Management, Secondary Standard Dosimetry Laboratory, Radiation Protection services throughout the country has been depicted in the poster presentation.

### **China: Unbalanced Development between Nuclear Energy Boom and Radioactive Waste Disposal Site Construction in China**

Since 1985, when the first nuclear power plant on the Chinese mainland, the Qinshan Nuclear Power Plant, began construction, China has adopted safe and reliable reactor technology, and learned from the experiences and lessons of major nuclear accidents abroad to make safety improvements. After more than 30 years, China has achieved independent design, construction and operational capability in nuclear power, and entered a new stage of safe and efficient development. By June 2019, China had 47 nuclear power units in operation, ranking third in the world, and 11 nuclear power units under construction, ranking first in the world. The first Hualong-1 nuclear reactor in the world is under construction at Fuqing NPP, and it will come into commercial operation in 2020 according to the schedule.

As the capacity of nuclear power plant has been increasing quickly, low- and intermediate-level radioactive waste produced by reactor operation grows quickly in accordance. Timely and safe disposal of solid LILW becomes a key factor to sustainable development of China's nuclear energy. It will be pressing and necessary to speed up in siting and construction of new solid LILW disposal repositories. But in fact, the siting and construction process goes slow, while an important reason is Not In My Backyard (NIMBY).

### **Indonesia: Study on Inventory and Repository of TENORM Waste from Tin Industry in Bangka Island, Indonesia**

Center for Waste Management Technology, BATAN with research grant from Ministry of Research, Technology, and Higher Education has been studying the inventory and repository of TENORM Waste from the Tin Industry in Bangka since the April 2019. There are 4 activities in the tin industry associated with TENORM i.e. mining, washing of tin sand, smelting, and processing of tailings from washing. In mining, tin sand produced from the mining process has high concentration of radioactivity, but the tailing has low radioactivity. Tin sand from mining is washed to increase the tin concentration in the sand. In this step, the tin sand with concentration more than 70% and tailings has been produced. Tin sand and tailing has high radioactive concentration. Tin sand is processed in a smelter which produces tin and slag. Slag has high radioactive concentration, but tin not detected. Tailings from the washing process is reprocessed to produce by product i.e. zircon, ilmenite, and monazite. These by products have high radioactive concentrations. This by-product industry has solved part of the environmental problem from the tin industry, even as it seems there are radiation protection problems for the worker. Slag from smelter is still in problem until now because

there is no decision about the disposal. This study has been conducting the slag inventory, the potential site for landfill, the landfill design, and the safety assessment of the landfill. The results will be disseminated to all stakeholders.

#### **Japan: Decontamination Evaluation and Reduction of Radioactive Waste / JAEA actions in Fukushima**

JAEAs activities of handling huge LLW after Fukushima-Daiichi NPP accident are introduced based on JAEA brochure. In order to reduce the production of LLW, JAEA create database from the experience of radiation monitoring, effect and cost of decontamination of various fields and materials, and geographical data. The database is the core of the Restoration Support System for Environment (RESET). It is a support system for decontamination planning with evaluation of effect of proposed decontamination method. Development of reduction in the disposal amount of existing LLW using classification method, chemical processing or heat treatment are also introduced.

#### **Kazakhstan: Kazakhstan's Activities on Bringing the Territory of the Former Semipalatinsk Test Site to Safety State**

Since the Test Site closure and up until now Kazakhstan in cooperation with international scientific community have accumulated a large scope of information about the current radiological situation at the STS and adjacent territories. The reports revealed all the important spots of radioactive contamination, identified the main pathways and mechanisms for present and potential proliferation of radioactive substances.

The radiological situation does not remain stable; there were identified processes of radionuclide migration which requires regular monitoring of the radiological situation at the STS.

Taking into account the scale of the Site and the variety of tests performed there, the information available about the STS cannot be completely exhaustive but enables us to propose a scientifically grounded plan for further research and practical measures aimed at remediation and reclamation of lands. Implementation of such measures should return the most part of the test site lands to commercial use.

Certain areas at the STS cannot be used now and in the observable future for conventional commercial activities. At the same time, these lands can profitably be used for bringing there enterprises of the nuclear power cycle. Particular need in Kazakhstan exists for disposal of radioactive waste accumulated in the country. It is therefore reasonable to establish at the STS a state facility for processing and long-term storage (disposal) of radioactive waste.

#### **Malaysia: Strengthening radiation safety and facilities of the National Radioactive Waste Management Centre**

The National Radioactive Waste Management has been in service for over than 30 years, and for some of its facilities, major maintenance to upkeep the services and safe operating conditions are called for. Around international practices, level of safety is heightened and security measures are imposed at critical installations. Therefore, under the 10th and 11th Malaysia Development Plan, Nuclear Malaysia carried out a program to upgrade the safety and security level of the radioactive waste management facilities as well as to meet the increasing demand for waste management. Some of the projects under this program include construction

of a new Interim Store, upgrading the existing Interim Store and upgrading the Low Level Effluent Treatment Plant. It is hoped that the facilities would be able to continue running and providing service for the next 30 years without downtime.

#### **Mongolia: Radiation Safety and Radioactive Waste Management in Mongolia**

The purpose of the poster is focus on following: 1) The Nuclear Energy Commission (NEC) of the Government of Mongolia reestablished in the beginning of 2015, under the amendment of Nuclear Energy Law. NEC is responsible for developing and implementing the national policy on the exploitation of radioactive minerals and use of nuclear energy, the responsible for coordination activities to ensure nuclear safety and radiation protection, for developing and adopting safety and security regulations, and for licensing of nuclear facilities. In addition, mention that approved national standards, regulations and guidance. 2) The General Agency for Specialized Inspection (GASI) responsible with largely focused on the control and inspection of the uses of radiation sources and radioactive minerals. 3) The Isotope Center, which operates the radioactive waste management facility, for the Nuclear Energy Commission, is responsible for the safe storage of radiation sources and radioactive wastes and safe transport of radioactive materials in Mongolia.

#### **Philippines: Radioactive Waste Management in the Philippines: Moving Forward**

The Philippines, through the Radioactive Waste Management Facility of PNRI continues to safely manage the radioactive wastes generated in the country. Following the experiences from past projects with the IAEA and other member states, works are now focused on the management of Category 3-5 disused sealed radioactive sources (DSRS). From 2018 to date, a total of 87 devices been dismantled, 106 recovered 50 of which have been encapsulated. The inventory of the wastes is also being aligned to the recommendations of the IAEA. The Radioactive Waste Management Registry (RWMR 3.2 Web) of the agency has been adapted and a total of 1,783 waste records starting from 1981 to 2018 have been successfully transferred to the system. Research activities were also conducted particularly in the drum design of DSRS capsules via MCNP calculations in order to maximize the capacity of the storage drum. There are still many challenges ahead however, hence various future projects are being developed particularly in addressing the need for a waste disposal program.

#### **Thailand: Radioactive Waste Management Support Megaport Initiative at Laem Chabang Seaport Thailand**

It is an important to the security of the world that cargo shipped through the seaports is screened for hazardous materials that can be used to make a bomb or weapon. In 2005, The U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administrative (NNSA) in cooperation with the Custom Department of Thailand installed radiation portal monitors and alarm communication system under the Megaports Initiative (MI). The radiation detection system started to scan and screen cargo container traffic for special nuclear or other radiation materials in 2007.

Since the radiation detection system operated, a number of cargo containers were confined and investigations were taken to test the emergency practices. Countermeasures on radiation protection together with source searches and radioactive contamination survey techniques played an important role to cope with searching

for the source with safety. With regard to Nuclear Energy for Peace Act, B.E.2559 (2016), a source found is taken into consideration as radioactive waste. Therefore, radioactive wastes found were confined and more details investigated at the hot zone. Success in scanning and screening the cargo container traffic for radiation material were done several times. Amount of waste due to this task is now likely a significant source of radioactive waste in Thailand. However, the stringent regulatory control and the effective waste management strategy and sufficient facility should be considered to support the MI in Thailand to achieve its mission which serve and help protect the security, human and environment of the world.

#### **Vietnam: A Study on a Closed-Loop Production of Coagulants and Pigments without Secondary Wastes from Vietnam Red Mud**

Red mud is the waste from alumina production using Bayer technology, which is considered to be a serious environmental pollutant (NORM). Therefore, the study of red mud reuse and radiation safety assessment has long been considered by scientists. In this paper, a comprehensive method for manufacturing pigments and coagulants from Vietnamese red mud in a closed loop without accompanying secondary wastes: The red mud was dissolved in 3M sulfuric acid at 85 ° C for 2 hours, solution was separated and used as a coagulant, the solid residue was washed, calcined at 700 ° C for 2 hours, then used as a pigment, replacing the iron oxide in an anticorrosive paint for steel and in a coating for road brick. At the same time, to evaluate the applicability of the pigment for paint and coagulants the in waste water treatment with the radiation safety assessment. Pigments for the production of paint have medium particle size of 40-100nm, uniformly distributed and have the main components  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \sim 52.4\%$ , used in Alkyl rust-resistant paint with a shear strength of 160 Kg.cm, 3.57 Mpa adhesion and better corrosion resistance. Product quality is equivalent to domestic commercial paint. Coagulants for wastewater treatment are very effective: In particular, for effluent with high COD content, it decreased from 6746 mg / l to 687 mg / l (about 90%), for sewage PO43 decreased from 56.09 mg / l to 21.00 mg / l (about 63%). The coagulant was tested at the Elmich sewage treatment plant of the European Group Elmich Appliances, and the results were achieved by the Vietnamese standard for industrial wastewater.

## 2.6.2 RS&RWM 参加者リスト

### **List of Participants** **FNCA 2019 Workshop on Radiation Safety and Radioactive Waste Management** **Project**

October 1<sup>st</sup> – 3<sup>rd</sup>, 2019

Hanoi, Vietnam

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Title</b>
Australia	Mr Duncan Kemp	Manager, Waste Management Services Nuclear Operations Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)
Bangladesh (PL)	Dr M. Moinul Islam	Chief Scientific Officer, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
China	Mr Qin Guoqiang	Deputy Director of Environmental Protection and Radiation Safety Department, China National Nuclear Corporation (CNNC)
Indonesia	Dr Dadong Iskandar	Senior Researcher, Center for Radioactive Waste Technology, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Japan (Coordinator)	Mr Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan (Advisor)	Dr Namba Hideki	FNCA Advisor of Japan
Japan (PL)	Prof Kosako Toshiso	Professor Emeritus, The University of Tokyo



Country	Name	Title
Japan	Mr Saito Tatsuo	Assistant Principal Engineer, Predisposal Management Office Planning Department Decommissioning and Radioactive Waste Management Head Office Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan	Dr Hashimoto Makoto	General Manager, Radiation Dosimetry and Environmental Monitoring Section, Radiation Protection Department, O-arai Research and Development Institute, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan (Secretariat)	Ms Tanida Ayako	International Affairs and Research Department, Nuclear Safety Research Association (NSRA)
Kazakhstan (PL)	Mr Yevgeniy Tur	Senior Engineer, National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan
Malaysia (PL)	Dr Norasalwa Binti Zakaria	Unit Manager, Malaysian Nuclear Agency
Mongolia	Ms Uranchimeg Batdelger	Senior officer, The Executive of Nuclear Energy Commission, Government of Mongolia
Philippines	Ms Kristine Marie Dacallo Romallosa	Supervising Science Research Specialist, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)
Thailand	Mr Nikom Prasertchiewchan	Manager of Radioactive Waste Management Center, Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT)

Country	Name	Title
Thailand	Mr Witsanu Katekaew	Head of Radioactive Waste Management Section, Radioactive Waste Management Center, Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT)
Vietnam (Coordinator)	Dr Tran Ngoc Toan	Vice President, Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)
Vietnam (PL)	Assoc. Prof. Dr Le Thi Mai Huong	Deputy Director, Institute for Technology of Radioactive & Rare Elements (ITRRE)
Vietnam	Mr Nguyen Ba Tien	Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)
Vietnam	Ms Doan Thi Thu Hien	Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)
Vietnam	Mr Le Hong Minh	Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)

## 2.6.3 RS&RWM プログラム

### **Program of FNCA 2019 Workshop on Radiation Safety and Radioactive Waste Management Project**

October 1<sup>st</sup> – 3<sup>rd</sup>, 2019

Hanoi, Vietnam

Day 1, 1 October

0845-0900 Registration

0900-0915 **Session 1: Opening**

**Facilitator: Assoc. Prof. Dr Le Thi Mai Huong**

- 1) Welcoming Remarks | Dr Tran Ngoc Toan (3 min)
- 2) Opening Remarks | Mr Wada Tomoaki (3 min)
- 3) Introduction of Participants (3 min)
- 4) Group Photo (1 min)

0915-1015 **Session 2: Introduction**

**(Presentation 15 min + Q&A 5 min)**

Facilitator: Mr Yevgeniy Tur (Kazakhstan)

- 1) FNCA Report 2018-2019 | Mr Wada Tomoaki
- 2) Vietnam's Achievements in FNCA Projects | Vietnam
- 3) Project Overview and Goal | Prof Kosako Toshiso, Japan

1015-1035 *Morning Tea* (20 min)

1035-1150 **Session 3: Country Report**

**(Presentation 20 min + Q&A 5 min)**

**Facilitator: Dr Dadong Iskandar (Indonesia)**

- 1) Australia
- 2) Bangladesh
- 3) China

1150-1300 *Lunch* (70 min)

1300-1440 **Session 3: Cont'd**

**(Presentation 20 min + Q&A 5 min)**

**Facilitator: Ms Kristine Marie Dacallo Romallosa (Philippines)**

- 4) Indonesia
- 5) Japan (Mr Saito)

	6) Kazakhstan
	7) Malaysia
1440-1500	<i>Afternoon Tea (20 min)</i>
1500-1640	<b>Session 3: Cont'd</b> <b>(Presentation 20 min + Q&amp;A 5 min)</b> <b>Facilitator: Mr Qin Guoqiang (China)</b> 8) Mongolia 9) Philippines 10) Thailand 11) Vietnam
1640-1740	<b>Session 4: Presentation on NORM/TENORM and Disposal of Disused Sources</b> <b>(Presentation 15 min)</b> <b>Facilitator: Mr Nikom Prasertchiewchan (Thailand)</b> 1) NORM/TENORM: Vietnam (15 min) 2) Disposal of Disused Sources: Malaysia (15 min) 3) Brief Summary: Japan (10 min) 4) Discussion (20 min)
<b>Day 2, 2 October</b>	
0900-0910	<b>Session 5: Introduction of MEXT HRD Program and FNCA Activities Related to the RS&amp;RWM Project</b> <b>Facilitator: Prof Kosako Toshiso (Japan)</b> 1) Leading Speech   Dr Namba Hideki (10 min)
0910-1020	<b>Session 6: Group Discussion on Consolidated Report (General Section)</b> <b>Facilitator: Dr M Moinul Islam (Bangladesh)</b> 1) Leading Speech   Prof Kosako Toshiso (10 min) 2) Discussion (60 min) *Discussion will be facilitated by each leading country. <b>Japan/Mongolia/Philippines</b> <b>Australia/China/Thailand/Vietnam</b> <b>Kazakhstan/Bangladesh/Indonesia/Malaysia</b> *Countries written in bold type is a leading country of the group
1020-1040	<i>Morning Tea (20 min)</i>
1040-1140	<b>Session 7: Group Discussion on Consolidated Report (Specific Section)</b> 1) Discussion (60 min) *Discussion will be facilitated by each leading country.

**Japan**/Mongolia/Philippines

**Australia**/China/Thailand/Vietnam

**Kazakhstan**/Bangladesh/Indonesia/Malaysia

\*Countries written in bold type is a leading country of the group

1140-1250 *Lunch (70 min)*

1250-1420 **Session 8: Poster Session**

**(Presentation 15 min)**

**Facilitator: Prof Kosako Toshiso (Japan)**

- 1) Australia
- 2) Bangladesh
- 3) China
- 4) Indonesia
- 5) Japan (Dr Hashimoto)
- 6) Kazakhstan

1420-1440 *Afternoon Tea (20 min)*

- 1440-1555
- 7) Malaysia
  - 8) Mongolia
  - 9) Philippines
  - 10) Thailand
  - 11) Vietnam

1555-1655 **Session 9: Three-year Evaluation (60 min)**

**Facilitator: Prof Kosako Toshiso + Secretariat**

- 1) Discussion
- 2) Completion of 3 Year Evaluation Form

1655-1710 **Session 10: Summary**

**Facilitator: Mr Duncan Kemp (Australia)**

- 1) Quick Check and Adoption

1710-1720 **Session 11: Closing**

**Facilitator: Ms Uranchimeg Batdelger (Mongolia)**

- 1) Closing Remarks | Assoc. Prof. Dr Le Thi Mai Huong
- 2) Closing Remarks | Prof Kosako Toshiso
- 3) Closing Remarks | Dr Namba Hideki

### **Day 3, 3 October**

Technical Visit to Yen Phu Rare Earth JSC, Yen Bai Province

Rare Earth Mine

## 2.7 核セキュリティ・保障措置(NSS)プロジェクト国際会合

### 2.7.1 NSS 議事録

#### **Minutes of FNCA 2019 Workshop on Nuclear Security and Safeguards Project**

November 26<sup>th</sup> – 28<sup>th</sup>, 2019

Manila, Philippines

Dr. Lucille V. Abad, Chief of Atomic Research Division, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), FNCA Coordinator of the Philippines and Mr. WADA Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan, delivered the opening remarks. Thereafter, the Workshop officially commenced.

After the Opening Remarks, the introduction by each Workshop participant followed. The 9th FNCA Workshop had 19 participants from nine countries: Bangladesh, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, Thailand, Philippines and Vietnam.

Following the participants' introduction, Mr. SENZAKI Masao, FNCA Nuclear Security and Safeguards Project Leader of Japan, moderated the adoption of the workshop agenda. The agenda was accepted by the participants and the workshop with eight sessions was opened.

#### **Sessions 1&2: Country Report**

##### **Moderator:**

Ms. Noraini Binti Razali, Atomic Energy Licensing Board (AELB), Malaysia

9 FNCA member countries (Bangladesh, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Malaysia, Mongolia, Philippines, Thailand, and Vietnam) presented their country reports that included the updates on the developments and improvements since the 2018 Workshop regarding the implementation of safeguards and nuclear security, the promotion of nuclear security culture and capacity building activities.

All countries reported close cooperation with international or regional organizations and other countries, to strengthen nuclear safeguards and security capacity building. Almost all countries have implemented activities to complete their respective nuclear security and safeguards regime through bilateral and multilateral cooperation with the IAEA, other countries and organizations.

The consolidation of the country reports is covered in Session 6 of the Country Report Summary.

#### **Session 3: Report and Discussion on Nuclear Forensics (NF)**

##### **Moderator:**

Ms. Maria Teresa A. Salabit, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), Philippines

**Presentations were delivered by Japan and Thailand**

Mr. KIMURA Yoshiki, Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security, Japan Atomic Energy Agency (ISCN/JAEA), Japan

Ms. NORO Naoko, ISCN/JAEA, Japan

Dr. Areerak Rueanngoen, Office of Atoms for Peace (OAP), Thailand

### **I. Report on the Table Top Exercise (TTX) on NF during the Regional Training Course on Nuclear Forensics sponsored by ISCN/JAEA**

Mr. KIMURA discussed the NF Questionnaire provided at the Regional Training Course (RTC) on Nuclear Forensics held on January 2019 and sponsored by ISCN. He explained the purpose of the NF Questionnaire for the Tabletop Exercise on Nuclear Forensics is to share information among the FNCA Member States about the current status of NF national capability and identify the needs of the current activity within the framework of FNCA.

The RTC on Nuclear Forensics was attended by 16 participants from 12 countries involving technical experts, regulators and others, everyone answered the NF questionnaire. The course content included lectures and tabletop exercises and facility tour of ISCN. The summary of the NF questionnaire showed the challenges in the area of NF framework, NF laboratory and NF interpretation of the findings. On this basis, the RTC was a success. Office of Atoms for Peace, Thailand, dispatched an expert to ISCN for two months to contribute to the course material development.

Next Step – Hands-on Exercise on Nuclear Forensics to be held in Thailand on May 2020.

A question was raised by Bangladesh regarding the communication channels for the Letter of Invitation on the training courses. The concern was addressing the flow of notification reaching the target audience and interested countries for participation. The issue will be further discussed internally by the sponsoring organization.

### **II. Presentation on the Outline of Short TTX in this workshop**

Ms. NORO provided a brief description on the Short tabletop exercise scheduled for 28 November.

Details of the tabletop exercise were not disclosed in the presentation so as not to pre-empt the scenario.

### **III. Presentation on the plans for the Hands-on Training Exercise on Nuclear Forensics (2020)**

Dr. Areerak presented the plans for the Hands-on Training Exercise on Nuclear Forensics to be held in Thailand in May 2020. She provided background information on NF in Thailand. She also discussed the course structure of the NF training course for May 2020 which is similar to ISCN modules: Lectures, Interactive TTX and sharing information and good practices on NF.

### **Session 4: Report and Discussion on Good Practice of Additional Protocol (AP) Implementation (Effective Capacity Building Development based on Good Practices from the AP Implementation)**

#### **Moderator:**

Dr. Abid Imtiaz, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC), Bangladesh

**Presentations were delivered by Kazakhstan, Mongolia and Thailand**

Mr. Alexandr Ossintsev, National Nuclear Center (NNC), Kazakhstan

Ms. Gerelmaa Gombosuren, Nuclear Energy Commission (NEC), Mongolia

Dr. Areerak Rueanngoen, Office of Atoms for Peace (OAP), Thailand

In this session presentations on Good Practices of Additional Protocol (AP) Implementation were delivered from Kazakhstan, Mongolia and Thailand. This was followed by a round table discussion with a presentation from Ms. Perpetua Rodriguez of ISCN/JAEA on the results of the Survey on good practices of AP implementation.

The FNCA Members have agreed on the next step proposal with reference to the final report of the survey conducted: the first draft is expected by the end of March 2020; comments are expected from the Members by the end of April 2020 (with a possible extension of 2 weeks); final draft is expected to be prepared by the end of May 2020 and the final review by the end of June, 2020. The report on good practices will include lessons-learned while maintaining confidentiality of information.

In parallel the FNCA secretariat will seek the IAEA procedure/requirement for the publication of the final report as an IAEA information circular (INFCIRC).

### **Session 5: Special Lectures**

#### **Moderator:**

Ms. Gerelmaa Gombosuren, Nuclear Energy Commission (NEC), Mongolia

#### **Presentations were delivered by Japan and the Philippines**

Prof. UESAKA Mitsuru, the University of Tokyo, Japan

Ms. Maria Teresa A. Salabit, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), Philippines

#### **I. Presentation by Prof. Mitsuru Uesaka**

Prof. UESAKA presented experience on Nuclear Human Resources Development in Japan (JN-HRD). The JN-HRD Net was first established in November 2010.

The number of participating organizations is 71 as of September 30, 2013. Network steering committee meeting was held twice a year and it has discussed the network activity. The aim of JN-HRD Net is to share information on nuclear HRD and limited resources, to promote national / international cooperation on nuclear HRD, to improve effectiveness and efficiency on nuclear HRD activities, and to establish a consistent HRD system or program.

He presented about the strategy development practices and how to set the task for each sub-WG including the collection and examination, and result and evaluation of the activities.

There are 4 Sub-WG covering elementary and high school education, basic nuclear education at universities and colleges, support to newcomers on nuclear power and HRD for internationally minded engineers.

The purpose of these 4 sub-WG purpose is to lead the school children to have interest on nuclear energy, promotes students to have interest on nuclear engineering subject, to provide a unique international



educational experience for promising young professionals from newcomer countries seeking to develop nuclear power and to implement a virtual nuclear management university.

He concluded his presentation describing the composition of Japan N-HRD Network consisting of members of Governments, Industries and Academia to support nuclear HRD for students, engineers and foreign people.

It was a good experience for Japan to share the experiences of Network to FNCA member states. FNCA member states will establish National Stakeholder Network for HRD.

## **II. Presentation by Ms. Maria Teresa A. Salabit**

Ms. Maria Teresa A. Salabit presented the Philippines' experiences on the security of radioactive sources.

She briefly presented the importance for establishing an appropriate and effective nuclear security regime for enhancing the State's, and thereby global, efforts to combat nuclear terrorism.

Portal Monitors were installed in ports of Manila for terminal operators and Port for Cebu for port authority. Mobile Detection System used by the national police in 2014. Philippines has actively cooperated with the Global Initiatives to Combat Nuclear Terrorism (GICNT), Global Partnership Against the Spread of Weapons and Materials of Mass Destruction and Nuclear Security Summit.

They are integrating with other stakeholders like the National Security Council, Philippine National Police, Armed Forces of the Philippines (Phil. Army, Phil. Airforce), Bureau of Customs, National Coast Watch Center and Port Authority (Cebu and Manila) addressing major public events.

She concluded her presentation with nuclear security culture needs to be enhanced through continuing awareness program in the facility.

## **Session 6: Country Report Summary**

The compilation of the country report summary (from Sessions 1 and 2) was presented by Ms. NORO Naoko (ISCN/JAEA). Edits and comments were received and incorporated in the country report summary. The Summary is attached to this report as "Country Report Summary." The updated Country Report Summary will be posted on the FNCA website.

## **Session 7: Future 3-year plan of Nuclear Security and Safeguards Project**

### **Moderator:**

Mr. NAOI Yosuke, Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security, Japan Atomic Energy Agency (ISCN/JAEA), Japan

Mr. SENZAKI Masao, Project Leader of Japan, started his presentation by showing the results of the survey for the future 3-year plan of this project.

### **1. Future Direction for the Project**

#### **1) Background**

- Promotion of peaceful use of nuclear energy in FNCA member countries. Preventing the treats of nuclear terrorism.
- Contribution to the Post-Nuclear Security Summit (NSS) process to continue with international leadership, promoting implementation of the commitments made during the NSS (four NSS Communiqués, the Action Plans, national commitments and associated joint statements, others).
- Promote the IAEA International Conference on Nuclear Security (February 10-14, 2020)
- Implementation of the resolution (FNCA's MLM)

2) Resolution (or Communiqué) of Ministerial Level Meeting (MLM Joint Communiqué of 19th MLM (December 6, 2018)

Recognizing the urgent need to reinforce nuclear security, including nuclear forensics and cyber security in nuclear facilities, through adequate preparations that deal with such potential risks as: terrorism threats and other critical security issues for the member countries,

Decided to work toward: (Themes and activities to be promoted)

Furthering the activities prioritized in general by the member countries related to the application of nuclear science and technology particularly in such areas, nuclear security including nuclear forensics and cyber security, and HRD for nuclear safety and security culture which are universal concerns of the member countries

## **2. Outline of Next 3-Year Plan**

The following fields may be recommended as the next 3-year plan.

- 1) Nuclear Security: nuclear forensics, cyber security, insider threat, nuclear security culture, transport security of radioactive sources and nuclear material
- 2) Safeguards: Additional Protocol, safeguards implementation (small quantity of nuclear materials, etc.), others
- 3) Common for security and safeguards:
  - Capacity building (HRD, others) under COEs: workforce planning, development of HRD plan in specific to the capacity building of staff, training for safeguards inspectorate (CSA, AP), train the trainer for nuclear security development (cyber security, radioactive transport, security culture)
  - Nuclear safety and security interface
  - Emerging technologies and the digital age (AI, social networking, big data, others)
- 4) Open seminar for specific items requested from the WS host country, including International collaboration with IAEA, APSN, others
- 5) Support and Collaboration from Japan's Authorities (CAO, MEXT, NRA, MOFA, ISCN/JAEA, others), Relevant Authorities of FNCA of member countries, and International Organization (IAEA, others)

## **Session 8: Concluding Session**

Summary of the workshop was presented by Ms. Perpetua Rodriguez (ISCN/JAEA). She informed that the summary will be provided to the participants for confirmation of its contents by electronic mail.

Mr. SENZAKI Masao, Project Leader of Japan, concluded the workshop by providing a summary of what had been discussed and the proposals that were made. He encouraged FNCA members to provide ideas of possible projects that may be undertaken for the future. He also delivered the closing remarks, as the FNCA representative and expressed the appreciation to the Philippines for hosting the workshop for 2019. He announced that Thailand will be hosting the 2020 workshop.

Dr. Lucille V. Abad, Chief of Atomic Research Division, PNRI, FNCA Coordinator of the Philippines, affirmed the Philippines' commitment in the FNCA project of Nuclear Security and Safeguards. She encouraged collaboration among FNCA members to achieve the objectives of this project.

After the delivery of the closing remarks, the Workshop was officially closed.

## 2.7.2 NSS 参加者リスト

### **List of Participants** **FNCA 2019 Workshop on Nuclear Security and Safeguards Project**

November 26<sup>th</sup> – 28<sup>th</sup>, 2019

Manila, Philippines

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Affiliation</b>
Bangladesh (PL)	Dr. Abid Imtiaz	Chief Scientific Officer & Head Nuclear Safety Section, Nuclear Safety, Security and Safeguards Division, Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)
Indonesia (PL)	Mr. Khairul	Senior Nuclear Security Officer, Center for Informatics and Nuclear Strategic Zone Utilization, National Nuclear Energy Agency (BATAN)
Kazakhstan (PL)	Mr. Alexandr Ossintsev	Head of Department of Non-Proliferation and Security Control, National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC)
Malaysia (PL)	Ms. Noraini Binti Razali	Assistant Director Policy and External Affairs Atomic Energy Licensing Board (AELB)
Mongolia (PL)	Ms. Gerelmaa Gombosuren	Senior officer of the International Conventions and Treaties, Nuclear Energy Commission Government of Mongolia
The Philippines	Mr. Nelson P. Badinas	Officer in Charge Nuclear Safeguards and Security Section Nuclear Regulatory Division, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)

<b>Country</b>	<b>Name</b>	<b>Affiliation</b>
The Philippines (PL)	Ms. Maria Teresa A. Salabit	Science Research Specialist II, Nuclear Safeguards and Security Section, Nuclear Regulatory Division, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI)
The Philippines	Mr. Nelson P. Badinas	Nuclear Safeguards and Security Section, Nuclear Regulatory Division, Philippine Nuclear Research Institute(PNRI)
Thailand	Dr. Areerak Rueanngoen	Nuclear Chemist, Security and Safeguards Technical Support Section, Regulatory Technical Support Division Office of Atoms for Peace (OAP)
Vietnam	Mr. Can Viet Tuan	Officer, Nuclear Security & Safeguards Division Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety (VARANS)
Japan (Coordinator)	Mr. Wada Tomoaki	FNCA Coordinator of Japan
Japan (MEXT)	Mr. Suzuki Tetsu	Deputy Director Office for Nuclear Non-Proliferation Science and Technology, International Nuclear and Fusion Energy Affairs Division, Research and Development Bureau, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan (PL)	Mr. Senzaki Masao	President of Japan Chapter, Institute of Nuclear Material Management(INMM), Former Senior Adviser, Japan Atomic Energy Agency(JAEA)
Japan	Prof. Uesaka Mitsuru	Professor Nuclear Professional School, School of Engineering The University of Tokyo

Country	Name	Affiliation
Japan	Mr. Naoi Yosuke	Director Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security (ISCN), Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan	Ms. Noro Naoko	Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security (ISCN), Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan	Ms. Perpetua Rodriguez	Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security (ISCN), Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan	Mr. Kimura Yoshiki	Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Safety (ISCN), Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
Japan	Ms. Takano Atsuko	International Affairs and Research Department Nuclear Safety Research Association (NSRA)

### 2.7.3 NSS プログラム

## Program of FNCA 2019 Workshop on Nuclear Security and Safeguards Project

November 26<sup>th</sup> – 28<sup>th</sup>, 2019

Manila, Philippinesorkshop Day 1: November 26, Tuesday	
9:30-10:20	<p>Opening remarks by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Dr. Lucille V. Abad, Deputy Director, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), FNCA Coordinator of the Philippines</li> <li>・ Mr.Wada Tomoaki, FNCA Coordinator of Japan</li> </ul> <p>Introduction of Members</p> <p>Adoption of the Agenda</p> <p>Group Photo</p>
10:20-10:40	Coffee Break
10:40-12:00	<p>Session 1: Country Reports I</p> <p>&lt; Moderator: Malaysia &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Bangladesh</li> <li>・ Indonesia</li> <li>・ Japan</li> <li>・ Kazakhstan</li> <li>・ Malaysia</li> </ul>
12:00-13:40	Lunch Break
13:40-14:40	<p>Session 2: Country Reports II</p> <p>&lt; Moderator: Malaysia &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Mongolia</li> <li>・ Philippines</li> <li>・ Thailand</li> <li>・ Vietnam</li> </ul>
14:40-15:00	Coffee Break
15:00-16:30	<p>Session 3: Report and Discussion on Nuclear Forensics</p> <p>&lt; Moderator: Philippines &gt;</p> <p>◆ Presentation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Japan</li> <li>・ Outline of short TTX in this workshop</li> <li>・ Thailand</li> </ul> <p>◆ Discussion</p>

<b>Workshop Day 2: November 27, Wednesday</b>	
9:00-10:40	<p>Session 4: Report and Discussion on Good Practice of Additional Protocol (AP) Implementation (Effective Capacity Building Development based on Good Practices from the AP Implementation)</p> <p>&lt; Moderator: Bangladesh &gt;</p> <p>◆ Presentation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Kazakhstan</li> <li>· Mongolia</li> <li>· Thailand</li> </ul> <p>◆ Roundtable Discussion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Results of the Survey of member countries</li> <li>· Discussion: further actions, next step</li> </ul>
10:40-11:00	Coffee Break
11:00-12:10	<p>Session 5: Special Lectures</p> <p>&lt; Moderator: Mongolia &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Nuclear Human Resources Development in Japan</li> <li>· Security of Radioactive Source, Philippinesa</li> </ul>
12:10-13:30	Lunch Break
13:30-15:00	Summary Drafting
15:00-15:20	Session 6: Country Report Summary
15:20-16:00	<p>Session 7: Future 3-Year Plan of Nuclear Security and Safeguards Project</p> <p>&lt; Moderator: Japan &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Presentation: Mr.Senzaki Masao, Project Leader of Japan</li> <li>· Discussion</li> </ul>
16:00-17:00	<p>Session 8: Concluding Session</p> <p>&lt; Moderator: Indonesia &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Lead Speaker: Mr. Senzaki Masao, Project Leader of Japan</li> <li>· Summary and conclusions</li> <li>· Next workshop</li> </ul>
17:10-17:20	<p>Closing Remarks</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mr. Senzaki Masao. Project Leader of Japan</li> <li>· Dr. Lucille V. Abad, Deputy Director, Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), FNCA Coordinator of the Philippines</li> </ul>

<b>Workshop Day 3: November 28, Thursday</b>	
9:00-12:00	<p>Special Event: Short TTX on Nuclear Forensics</p> <p>◆ Facilitator: ISCN/JAEA, Japan</p>
12:00-13:30	Lunch



Workshop Day 3: November 28, Thursday	
13:30-	Technical Tour (PNRI)

### 3. ニュースレター送付先一覧

#### 3.1 国内送付先

##### 3.1.1 FNCA 関係者

役職	氏名/所属組織名	
FNCA 日本コーディネーター	和田 智明 様	神戸市立青少年科学館
FNCA 日本アドバイザー	南波 秀樹 様	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
FNCA 運営グループ委員	運営グループ名簿参照	

##### 3.1.2 講師育成事業関係者

氏名	所属組織名
藤本 望 様	国立大学法人九州大学
木倉 宏成 様	国立大学法人東京工業大学
鳥羽 晃夫 様	一般財団法人原子力国際協力センター
北川 敦志 様	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
大森 茂美 様	日本原子力発電株式会社
山村 司 様	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大塚 重満 様	MHI NS エンジニアリング株式会社
浜本 雅啓 様	日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社
劉 維 様	国立大学法人九州大学
大岡 紀一 様	一般社団法人日本非破壊検査協会
鈴木 雅秀 様	国立大学法人長岡技術科学大学
村上 健太 様	国立大学法人長岡技術科学大学
乙坂 重嘉 様	東京大学大気海洋研究所
森村 尚登 様	国立大学法人東京大学
久保 稔 様	一般財団法人総合科学研究機構

氏名	所属組織名
柿沼 志津子 様	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
立崎 英夫 様	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
篠原 伸夫 様	株式会社ナイス
寺井 隆幸 様	国立大学法人東京大学

### 3.1.3 原子力人材育成ネットワーク

氏名	所属組織名
有田 裕二 様	国立大学法人福井大学
工藤 和彦 様	国立大学法人九州大学/原子力学会
藤本 登 様	国立大学法人長崎大学
吉村 真人 様	日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社
原子力本部 原子力保安研 修所 所長 様	四国電力株式会社
高橋 明男 様	一般社団法人日本原子力産業協会
桜井 久子 様	一般社団法人日本原子力産業協会
喜多 智彦 様	一般社団法人日本原子力産業協会
桜井 聡 様	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
中野 佳洋 様	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

### 3.1.4 原子力海外人材育成分科会

氏名	所属組織名
笠原 賢 様	東芝エネルギーシステムズ株式会社
奈良林 直 様	国立大学法人東京工業大学
佐藤 尚章 様	一般社団法人海外電力調査会

氏名	所属組織名
坂本 光 様	三菱重工業株式会社
山口 敬介 様	国際原子力開発株式会社
多田 伸雄 様	一般社団法人日本電機工業学会
大高 和弘 様	日本原子力発電株式会社
市園 克之 様	電気事業連合会
遠山 伸一様	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
池田 隆明 様	国立大学法人長岡技術科学大学
清水 美和子 様	日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社

### 3.1.5 駐日外国公館

氏名	所属組織名
Mr Trevor Holloway	オーストラリア連邦大使館
Dr Ziaul ABEDIN	バングラデシュ人民共和国大使館
Mr WU Song	中華人民共和国大使館
Ms Moestika Dewiani	インドネシア共和国大使館
Mr Maxat Saliyev	カザフスタン共和国大使館
Mr Kang Jeong Whan	大韓民国大使館
Mr Mohd Ishrin bin Mohd Ishak	マレーシア大使館
Ms Unurjargal Enkhbat	モンゴル国大使館
Mme. Evangeline T. Ong Jimenez-Ducrocq	フィリピン共和国大使館
Mr Nguyen Xuan Duc	ベトナム社会主義共和国大使館

### 3.1.6 政府関係

省庁名	部局名
文部科学省	審議官(研究開発局担当)
文部科学省	科学技術・学術政策局 研究開発基盤課 量子放射線研究推進室長
文部科学省	科学技術・学術政策局 科学技術・学術戦略官(国際担当)
文部科学省	研究振興局 研究振興戦略官
文部科学省	研究開発局長
文部科学省	研究開発局 開発企画課長
文部科学省	研究開発局 開発企画課 特別会計審査官
文部科学省	研究開発局 環境エネルギー課長
文部科学省	研究開発局 原子力課長
文部科学省	研究開発局 原子力課 放射性廃棄物企画室長
文部科学省	研究開発局 原子力課 立地地域対策室長
文部科学省	研究開発局 研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当)
文部科学省	研究開発局 研究開発戦略官付(核融合・原子力国際協力担当)
文部科学省	研究開発局 研究開発戦略官(新型炉・原子力人材育成担当)
文部科学省	敦賀原子力事務所長
内閣府	原子力政策担当室
外務省	軍縮不拡散・科学部 国際原子力協力室
厚生労働省	医政局 研究開発振興課 課長補佐
農林水産省	大臣官房政策課 技術政策室 技術調整班
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力政策課
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力政策課 原子力国際協力推進室

省庁名	部局名
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力立地・核燃料サイクル産業課
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力立地・核燃料サイクル産業課 核燃料サイクル産業立地企画官
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力立地・核燃料サイクル産業課 原子力発電立地企画官
経済産業省	資源エネルギー庁 原子力立地・核燃料サイクル産業課 原子力広報官
原子力規制庁	総務課 国際室
原子力規制庁	放射線防護グループ 放射線防護企画課 保障措置室
原子力規制庁	放射線防護グループ 放射線規制部門 管理官補佐(総括担当)

### 3.1.7 地方自治体等

組織名	部署名
北海道	総務部 危機対策局 原子力安全対策課
北海道	経済部 環境・エネルギー室
青森県	危機管理局 青森県原子力センター
青森県	危機管理局 原子力安全対策課
青森県	エネルギー総合対策局 エネルギー開発振興課
青森県	エネルギー総合対策局 原子力立地対策課
宮城県	環境生活部 原子力安全対策課
福島県	危機管理部 原子力安全対策課
福島県	企画調整部 エネルギー課
茨城県	防災・危機管理部 原子力安全対策課
茨城県	産業戦略部 科学技術振興課
新潟県	防災局 原子力安全対策課
新潟県	産業労働部 産業立地課

組織名	部署名
石川県	危機管理監室 原子力安全対策室
石川県	企画振興部 企画課
福井県	地域戦略部 電源地域振興課 主事
福井県	原子力環境監視センター
福井県	原子力環境監視センター 福井分析管理室
福井県	安全環境部 原子力安全対策課
福井県	安全環境部 危機対策・防災課
福井県	美浜原子力防災センター
福井県	年縞博物館
静岡県	危機管理部 原子力安全対策課
静岡県	経済産業部 エネルギー政策課
愛知県	防災局 防災危機管理課
京都府	危機管理部 原子力防災課
京都府	総務部 自治振興課
大阪府	危機管理室 防災企画課
大阪府	エネルギー政策課 企画推進グループ
鳥取県	危機管理局 原子力安全対策課
鳥取県	生活環境部 環境立県推進課
島根県	防災部 原子力安全対策課
島根県	地域振興部 地域政策課
岡山県	危機管理課 防災対策班
岡山県	環境文化部 環境企画課

組織名	部署名
愛媛県	県民環境部 防災局 防災危機管理課
愛媛県	県民環境部 防災局 原子力安全対策課
佐賀県	県民環境部 原子力安全対策課
長崎県	危機管理監 危機管理課
鹿児島県	危機管理防災局 原子力安全対策課
鹿児島県	企画部 エネルギー政策課

### 3.1.8 企業・大学等

組織名	部署名
アジア生産性機構(APO)	事務局長
公益社団法人茨城原子力協議会	原子力科学館
一般財団法人エネルギー総合工学研究所	原子力工学センター センター長
一般財団法人エネルギー総合工学研究所	プロジェクト試験研究部 原子力部長
一般社団法人海外電力調査会	国際協力部門 原子力協力部
公益財団法人環境科学技術研究所	総務課
公益財団法人原子力安全技術センター	総務部長
一般財団法人高度情報科学技術研究機構	総務部長
国立研究開発法人産業技術総合研究所	イノベーション推進本部 産学官・国際連携推進部 国際連携室
国立研究開発法人産業技術総合研究所	分析計測標準研究部門 放射線標準研究グループ
公益社団法人日本アイソトープ協会内 日本核医学会	理事長
公益社団法人日本医学放射線学会	事務局
一般財団法人日本エネルギー経済研究所	理事長
一般財団法人日本エネルギー経済研究所	アジア太平洋エネルギー研究センター 研究部長 研究理事



組織名	部署名
一般財団法人日本エネルギー経済研究所	戦略研究ユニット 原子力グループマネージャー 研究主幹
一般社団法人日本機械学会	事務局
一般社団法人日本原子力学会	事務局
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	副理事長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	戦略・国際企画室長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	戦略・国際企画室
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	広報部広報課
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	核不拡散・核セキュリティ総合支援センター 能力構築国際支援室
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	核不拡散・核セキュリティ総合支援センター 能力構築国際支援室
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	核不拡散・核セキュリティ総合支援センター 技術開発推進室
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	経営管理部門 経営企画部長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	原子力科学研究部門 原子力科学研究所長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター 中性子材料解析研究ディビジョン 階層構造研究グループ 研究員
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	原子力基礎工学研究センター センター長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	高速炉・新型炉研究開発部門 敦賀総合研究開発センター 拠点化推進室 国際連携協力グループ

組織名	部署名
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所長
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部 廃止措置準備室
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 再処理廃止措置技術開発センター 技術部核物質管理課 マネージャー
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	青森研究開発センター 総務経理課
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	むつ科学技術館
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	敦賀廃止措置実証部門 新型転換炉原型炉ふげん
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	高速増殖原型炉もんじゅ もんじゅ運営計画・研究開発センター センター長
一般財団法人日本原子力文化振興財団	理事長
一般社団法人日本物理学会	事務局
独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所	本部 総務部
公益社団法人日本放射線技術学会	事務局
公益財団法人福井原子力センターあっとほうむ	広報課長
国立研究開発法人物質・材料研究機構	外部連携部門 学術連携室
一般財団法人放射線利用振興協会	理事長
一般財団法人放射線利用振興協会	本部事務局
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事長
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	理事
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	経営企画部 国際課

組織名	部署名
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 研究企画部長
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 臨床研究クラスター 重粒子線治療研究部 放射線品質管理室 研究統括
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 放射線影響研究部
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 放射線影響研究部
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	QST 病院 病院長
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	量子ビーム科学研究部門 高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部 プロジェクト「先進触媒研究」
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	関西光科学研究所 所長
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	核融合エネルギー研究開発部門 部門長
公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター	福井県国際原子力人材育成センター 国際人材育成グループ
北海道電力株式会社	原子力部
北海道電力株式会社	東京支社
東北電力株式会社	火力・原子力本部 原子力部
東北電力株式会社	広報・地域交流部
東北電力株式会社	東京支社 社長
東京電力株式会社	原子力・立地本部
東京電力株式会社	広報部
東京電力株式会社	東通原子力発電所トントウビレッジ
中部電力株式会社	原子力本部
北陸電力株式会社	原子力部
北陸電力株式会社	東京支社
北陸電力株式会社	福井支店
関西電力株式会社	原子力事業本部 原子力企画部長

組織名	部署名
関西電力株式会社	原子力事業本部 原子力企画部 原子力企画グループマネージャー
関西電力株式会社	原子力事業本部 地域共生本部長
関西電力株式会社	嶺南新エネルギー研究センター長
関西電力株式会社	高浜原子力発電所若狭たかはまエルどらんど
関西電力株式会社	美浜原子力発電所美浜原子力 PR センター
関西電力株式会社	東京支社 社長
中国電力株式会社	原子力協力プロジェクト
中国電力株式会社	東京支社 社長
四国電力株式会社	原子力本部
四国電力株式会社	東京支社 社長
九州電力株式会社	原子力管理部
九州電力株式会社	東京支社 社長
日本原子力発電株式会社	常務執行役員
日本原子力発電株式会社	開発計画室プロジェクトグループ 副長
日本原子力発電株式会社	地域共生・広報室
日本原子力発電株式会社	東海テラパーク
日本原子力発電株式会社	敦賀原子力館
日本原子力発電株式会社	敦賀総合研修センター
合同会社 mcm japan	代表
株式会社原子力発電訓練センター	総務部
高速炉エンジニアリング株式会社	代表取締役社長
住友重機械工業株式会社	産業機器事業部 医療・先端機器統括部 営業部 部長

組織名	部署名
住友重機械工業株式会社	産業機器事業部 医療・先端機器統括部 営業部 係長
住友重機械工業株式会社	産業機器事業部 医療・先端機器統括部 営業部 主任技師
双日株式会社	第一原子力産業グループ 事務局長
東芝エネルギーシステムズ株式会社	パワーシステム事業部 新技術応用プロジェクト部 部長
東芝エネルギーシステムズ株式会社	パワーシステム事業部 技術統括 参事
東芝エネルギーシステムズ株式会社	パワーシステム事業部、新技術営業部 粒子線治療システム 担当 担当部長
東芝エネルギーシステムズ株式会社	パワーシステム事業部 パワーシステム企画部 参事
東芝エネルギーシステムズ株式会社	パワーシステム事業部 新技術応用プロジェクト部 担当部長
日本原燃株式会社	青森総合本部
日本原燃株式会社	企画部 国際業務統括グループ 主任
株式会社日立製作所	ヘルスケアビジネスユニット放射線治療システム事業部 粒子線治療マーケティング部
株式会社日立製作所	ビジネス推進部 部長代理
株式会社日立製作所	粒子線営業部 主任
株式会社日立製作所	粒子線営業部 担当
株式会社三菱総合研究所	原子力安全事業部 政策・技術基盤グループ 副本部長/グ ループリーダー
国立大学法人北海道大学	大学院工学研究院 エネルギー環境システム部門 教授
国立大学法人弘前大学	被ばく医療総合研究所 所長
国立大学法人弘前大学	被ばく医療総合研究所 放射線化学部門 助教
八戸工業大学	学長
八戸工業大学	工学部 機械工学科 教授
八戸工業大学	工学部 電気電子工学科 教授
八戸工業大学	社会連携学術推進室

組織名	部署名
国立大学法人東北大学	大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻 准教授
国立大学法人茨城大学	工学部 機械工学科 教授
国立大学法人茨城大学	フロンティア応用原子科学研究センター長 教授
国立大学法人筑波大学	陽子線医学利用研究センター センター長
国立大学法人総合研究大学院大学	高エネルギー加速器研究機構(つくばキャンパス)
国立大学法人総合研究大学院大学	高エネルギー加速器研究機構(東海キャンパス)
国立大学法人東京大学	大学院工学系研究科 原子力専攻 教授
国立大学法人東京大学	環境安全本部 教授
国立大学法人東京大学	大学院工学系研究科 学務課 専攻チーム システム創成学専攻事務室 係長
国立大学法人東京工業大学	科学技術創成研究院 先導原子力研究所 教授
東京女子医科大学	放射線腫瘍学講座 助教
国立大学法人福井大学	大学院工学研究科 エネルギー安全工学分野 教授
国立大学法人福井大学	附属国際原子力工学研究所 所長
国立大学法人福井大学	附属国際原子力工学研究所 教授
国立大学法人福井大学	附属国際原子力工学研究所 特命教授
福井工業大学	原子力技術応用工学科 教授
長野県立大学	助教
国立大学法人名古屋大学	大学院工学研究科 マテリアル理工学専攻 教授
国立大学法人名古屋大学	大学院工学研究科 マテリアル理工学専攻 准教授
国立大学法人京都大学	複合原子力科学研究所 所長
国立大学法人京都大学	複合原子力科学研究所 総務掛
近畿大学	原子力研究所 教授

組織名	部署名
国立大学法人広島大学	原爆放射線医科学研究所 教授
国立大学法人九州大学	大学院工学研究院 エネルギー量子工学部門 教授
国立大学法人九州大学	大学院工学研究院 エネルギー量子工学部門 教授
国立大学法人長崎大学	原子力災害対策戦略本部

### 3.1.9 報道機関

会社名	部署名
産経新聞社	科学担当
The Japan Times	科学技術担当
THE DAILY YOMIURI	科学技術担当
毎日新聞社	科学環境部
毎日 Daily News	科学技術担当
一般社団法人日本電気協会	新聞部電気新聞部編集局 製作室副課長
時事通信社	科学担当
日本放送協会	科学文化部
共同通信社	編集局 科学部部長
中国新聞社	報道局報道部 経済担当部長
読売新聞	東京本社 論説委員
日本経済新聞社	科学技術担当
東京新聞社	科学技術担当
福井新聞社	科学技術担当
茨城新聞社	科学技術担当
東奥日報社	科学技術担当

一般社団法人日本原子力産業協会 原子力産業新聞	担当者
----------------------------	-----

### 3.2 海外送付先

#### 3.2.1 FNCA コーディネーター

国名	氏名	所属組織名
バングラデシュ	Prof. Dr Md. Sanowar Hossain	バングラデシュ原子力委員会 (BAEC)
中国	Mr Huang Ping	中国国家原子能機構 (CAEA)
インドネシア	Dr Hendig Winarno	インドネシア原子力庁 (BATAN)
カザフスタン	Dr Prof Erlan G. Batyrbekov	カザフスタン国立原子力センター (NNC)
韓国	Ms Eun Kyoung Jee	科学技術情報通信部 (MSIT)
マレーシア	Dr Siti A'iasah Hashim	マレーシア原子力庁 (Nuclear Malaysia)
モンゴル	Mr Chadraabal Mavag	モンゴル原子力委員会 (NEC)
フィリピン	Dr Lucille V. Abad	フィリピン原子力研究所 (PNRI)
タイ	RADM Wachara Karunyavanij	タイ原子力技術研究所 (TINT)
ベトナム	Dr Tran Ngoc Toan	ベトナム原子力研究所 (VINATOM)

#### 3.2.2 在外大使館

組織名
在オーストラリア連邦日本国大使館
在バングラデシュ人民共和国日本国大使館
在中華人民共和国日本国大使館
在インドネシア共和国日本国大使館
在カザフスタン共和国日本国大使館
在大韓民国日本国大使館
在マレーシア日本国大使館
在モンゴル国日本国大使館
在フィリピン共和国日本国大使館
在タイ王国日本国大使館
在ベトナム社会主義共和国日本国大使館



### 3.2.3 海外関連組織

氏名	組織名
Mr Park Pill Hwan	Director, RCA Regional Office, IAEA/RCA
Mr Sawada Kazuhiro	First Secretary, Permanent Delegation of Japan to the OECD
Ms Charlotta Lundell	Personal Assistant to the Director-General, Nuclear Energy Agency (NEA)
Ms Emily Larson	International Relations Officer, United States Nuclear Regulatory Commission

2019年度「放射線利用技術等国際交流(専門家交流)」委託業務成果報告書

---

2020年3月 発行

公益財団法人 原子力安全研究協会

〒105-0004 東京都港区新橋5-18-7

電話:03-5470-1983

---