

アジア原子力協力フォーラム(FNCA)
電子加速器利用プロジェクト

ワークショップサマリー (仮訳)

メランティホテル&フィリピン原子力研究所 (PNRI)
フィリピン

2016年2月8日～11日

1) ワークショップの概要

i) 日程	2016年2月8日～11日
ii) 場所	メランティホテル フィリピン原子力研究所 (PNRI)
iii) ホスト機関	フィリピン原子力研究所 (PNRI) 文部科学省
iv) 参加国	バングラデシュ、インドネシア、日本、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイから計18名
v) Programme	添付1

2) ワークショップ・プログラム

オープニングセッション (2月8日)

ワークショップには、FNCA参加国であるバングラデシュ、インドネシア、日本、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピンおよびタイからの電子加速器利用と天然高分子の放射線処理に関する専門家が参加した。ワークショップ参加者のリストを添付2に示す。

フィリピン原子力研究所 (PNRI) の Alumanda Dela Rosa 氏、文部科学省の青木萌氏、および FNCA 日本アドバイザーの南波秀樹氏の各人が、歓迎のスピーチを行い、ワークショップ中の実りある議論を求めた。その後、参加者は簡単な自己紹介を行った。

セッション 1 : FNCA の概要

南波氏は2015年度中のFNCAプロジェクトの進捗状況について報告した。2015年12月に開催された最近の大臣級会合でなされた主要な決定のほかに、現在進行中のFNCAプロジェクト、特に、電子加速器利用プロジェクトを含む放射線利用プロジェクトについての顕著な活動と業績が列挙された。

日本原子力研究開発機構（JAEA）高崎研究所長の玉田正男氏が、このプロジェクトの歴史、業績および難題を発表した。FNCAにおける電子加速器利用プロジェクトは2つの主要な研究テーマを有し、ひとつは植物生長促進剤（PGP）についてであり、もう1つは、超吸水材（SWA）についてである。高品質のPGPは、キトサンとカラギーナンのような天然多糖類の放射線誘起分解によって製造される。これらの環境にやさしいPGP製品は、フィールド試験においてイネとチリのようなさまざまな作物の収量が非常に多くなることを示した。PGPとバイオ肥料の相乗効果が予備実験で観察された。2015年度から2017年度の第5フェーズでは、このプロジェクトは、すべての参加国において技術移転への挑戦と障害に対処することによってPGPを実用化しようとしている。放射線により分解された多糖類の新しい利用、または、新しい研究がPGP実用化の後で検討されるであろう。PGPのエンドユーザーのための新しいガイドラインは、FNCAのホームページ上で、追加的な新しいデータとともに掲載される予定である。PGPプロジェクトと他のFNCAプロジェクト、例えば、バイオ肥料プロジェクトや放射線育種プロジェクトとの有望な協力が準備されている。天然多糖類の架橋、または、天然多糖類に親水性単量体をグラフト結合させることによって調整されるSWAは土壌改良剤として、特に、乾燥地帯で土壌に水分含有量を保持するために利用できる。SWAを砂質土に混合すると、さまざまな作物の種子の発芽パーセントが向上した。SWAのフィールド試験により、砂質土における水やり頻度を減らせることが示された。

参加国における実用化の可能性を判断するため、SWAの能力と費用対効果が乾燥土壌条件で評価されることになっている。これと同時に、土壌改良剤としての実用化の後のSWAの新しい利用も調査される。

最初のセッションの議論の後、インドネシア原子力庁（BATAN）のDarmawan Darwis氏から、植物と土壌の条件がさまざまであるので、最大の収穫量を得るのに適切なPGP濃度を知るために、具体的な植物へのPGPの利用を評価するべきであるとする提言があった。選択した植物のための適切な濃度をPGPのためのFNCAガイドラインに含めることが合意された。

セッション 2：植物生長促進剤（PGP）の実用化における難題についてのカンントリーレポート

バングラデシュ、カザフスタン、モンゴルおよびフィリピンの4つのFNCA参加国は、PGPの実用化に向けた活動を実施中である。報告書の要約を付属書4第A編A-1として添付する。

それぞれの参加国は、研究開発中だけでなく、実用化においてもさまざまな種類の問題や障害に直面している。バングラデシュは今も研究と小区画での試行試験の段階にあり、フィリピンはすでに実用化前段階にある。カザフスタンとモンゴルは、オリ

ゴキトサン PGP を製造するための原料入手先について問題に直面し、また、試行フィールド試験を行うのに、あまりにも短い夏季の3~4か月の栽培期間しかなく、これらが、PGPの利用を最適化するための十分なデータを収集することに影響しているようである。これら両国は、確立された利用プロトコルに基づいた研究を実施するように、また、試行試験の前に、適切な作物を選ぶよう助言された。それらの国は、自国の農業省からの協力を要請することができ、適切な作物と小規模小区画での試行試験に関する提案を求めることもできる。インドネシアは、自国の研究所で開発された PGP を、フィールド試験用としてカザフスタンに提供することをすでに提案した。

最後に、それぞれの参加国は選択した作物の収穫量が著しく増加するという PGP の一般的で有益な効果を明確に示した。

セッション 3 : PGP の実用化における障害

セッション 3 ではバングラデシュ原子力委員会 (BAEC) の Salma Sultana 氏が、前の2つのセッションを包絡することによってリードスピーチを行った。同氏は、それぞれの参加国が直面しているさまざまな障害を以下のようにまとめた。

カザフスタンとモンゴル

1. 国内では、オリゴキトサンを調整するための原料もなければ、その入手先もない。
2. 1年間には栽培や試験を実施するために、6月から9月までの(気温が15~27℃の範囲)ごく限られた数ヶ月しかない。
3. 実験を開始する上で、キトサンを照射する施設、人的資源および財政予算が限られている(モンゴル)。

バングラデシュ

1. 農業研究所との協力が困難
2. 競争者のような他の入手先からの実用化された PGP が存在する。

フィリピン

1. PNRI は、多くの場所にある圃場試験のためにオリゴカラギーナン PGP の需要 60 万 L (リットル) 以上を満たす必要がある。
2. PNRI は 6720L/月を製造できるに過ぎないので、電子ビーム施設 (2.5 MeV、100 kW) を使用する新しい製造方法を必要としている。
3. KC (κ-カラギーナン) の大量調整において、水中に直接に注入するときの、高い粘度および粒団や塊の発生という技術的問題

議論の後、PGP と植物エリシターとして放射線処理を行ったキトサンやカラギーナンの実用化の障害を克服するため、いくつかの提案が行われた。

カザフスタンとモンゴル

1. 温室規模での具体的な植物のため、参加国 (インドネシアまたはマレーシア) が開発したオリゴキトサン PGP 製品の使用

2. 試験に使用する有望な具体的な作物を決定する。
3. 将来の活動として、キトサンを中国やロシアから購入できる。

バングラデシュ

1. より良い結果を得るため、および、他の実用化された PGP と競争できるため、バイオ肥料グループとの協力が必要である。

フィリピン

1. ガンマ線照射から電子ビーム照射への製造プロセスの変更
2. 線量分布の評価、ガンマ線照射と同じ結果を得るための線量設定、カラギーナンの分解のための代替手順のようないくつかの活動を行うべきである。

セクション 4：新しい研究と実用化した PGP の追跡調査に関するカントリーレポート

3つの FNCA 参加国、すなわち、日本、マレーシアおよびタイはすでに PGP の実用化を達成しているが、インドネシアは半実用化の段階にある。この報告書の要約を添付 4 A, A-2 として添付する。

特許申請と製造許可に関する質問が取り上げられた。インドネシアの場合、PGP の登録が必要であり、製品名は原料と同じであってはならない。タイでは PGP の登録が必要ではない。PGP の処理のため、日本は、コンピュータ・シミュレーションに基づき、1%の過酸化水素溶液で照射するとキトサンの分解を高めるというコメントを述べた。タイとマレーシアの場合、保存可能期間を長くするため、PGP 溶液の照射後にそれぞれ、2%と30%のエタノールが加えられた。

セッション 5：PGP の実用化および新しい研究の課題、難題と現状(2月9日)

このセッションでは、Darwis 氏が、PGP の実用化、および、新しい研究の課題、難題と現状についてリードスピーチを行った。同氏は、参加国における PGP の市場価格と仕様を含めて実用化段階を要約した。同氏はまた、モンゴルとカザフスタンがまだ R&D 段階にあるのに、他の国々はフィールド試験と実用化を達成しているということに言及して、参加国の活動に大きな開きがあることを述べた。先進段階にある国は、モンゴルとカザフスタンが自国の活動をスピードアップするのを支援する役割を有している。1つの提言は、インドネシアで製造された PGP を使用し、それらの国が特定した植物のための FNCA 指針に従うことである。モンゴルに対しては、ベトナムからオリゴキトサンを入手することが提言された。

議論では、フィリピンにおける電子線 (EB) を使用する PGP 製造の新しい半バッチプロセスが、大量製造に有望であることが認識された。他の参加国は、大規模製造のためにキトサンの固体状態での照射が、取り扱いやエンドユーザーへの輸送にとってより現実的な方法であると思われる述べた。

セッション 6：ヒドロゲル超吸水材（SWA）に関するカントリーレポート

バングラデシュ、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴルおよびフィリピンの6つのFNCA参加国は、SWAの実用化の達成のために現在実施中の活動を発表した。この報告書の要約を添付4 B, B-1として添付する。

セッション 7：SWA および将来の可能性と必要性の分析に関するカントリーレポート

SWAの実用化をすでに達成した2つのFNCA参加国、すなわち、日本とタイは、それぞれのカントリーレポートを発表した。この報告書の要約を添付4 B, B-2として添付する。

セッション 8：今後3年間のSWAの実用化のための難題

フィリピン代表者のリードスピーチでは、それぞれの国が、主として、アクリル酸と架橋させたか、または、グラフト結合させた天然高分子（カルボキシメチル・セルローズ、サゴ、でんぷん、κ-カラギーナン海藻）から構成される超吸水材の自国の処方を持っていると発表した。実用化を目指している参加国のうち、インドネシアだけはSWAのフィールド試験にまで進めている。シャロットについての結果では、生産性の向上とかんがいまたは水やりの頻度が減ることを示した。この研究は、SWAをPGP処理と併用するとさらに生産性が向上することも明らかにした。バングラデシュはトマトとナスについてセミ・フィールド試験を実施し、両作物の収穫量が増加することと水やり頻度が減ることを示した。カザフスタンとマレーシアについては、フィールド試験の確実な実施計画が今年を目指している。フィリピンは、継続的なR&D活動とは別に、計画的なセミ・フィールドおよびフィールドの活動を実施するための資金を求めて提案を農業省に提出する予定にしている。モンゴルの場合、SWAの研究材料が、小麦殻や小麦わらとアクリル酸である。

実用化したSWAを有する国のため、日本は、日新ハイボルテージ株式会社が製造した実用化CMC SWA（商品）、およびその利用について報告した。その後、ヒドロキシプロピル・セルロースから作る超吸水材を放射線治療のための放射線線量計／指示計として用いる新しい利用について発表があった。タイは、タイ原子力技術研究所（TINT）における200 kg／日の能力を有するパイロット規模のSWA製造について発表した。この国の干ばつ危機を解決するため、TINTとタイ農業協同組合の間のSWAの使用に関する覚書（MOU）が署名されようとしている。SWAの実用化に関する難題も議論された。これには、コストの大半がSWAの乾燥と製粉のプロセスから発生しているため、製造プロセス、特に、SWAのこれらのプロセスの規模拡大が含まれた。その他の関心事は、農業省からの資金提供と強い支援であった。SWAのような農業用製品を作り出すための放射線技術の推進活動が農業従事者はもとより、潜在的

な技術継承者を増やすのに役立つと思われるので、国々は、これらの活動を実施するように奨励された。

セッション 9：オリゴキトサンのイネと唐辛子への利用に関するガイドライン

このセッションでは、PGP ガイドラインの草案が、参加国のコメントと提案を求めて議論された。読者の誤解を招かないために、PGP の一般的説明を与える専門用語が集められた。Q&A の部分では、エンドユーザー、特に、農業従事者からよく出される質問を、それに対する回答とともに挙げた。参加国のコメントを反映した後、この指針は 2016 年 3 月末までに完成して、FNCA のホームページに掲載される予定である。

セッション 10：放射線処理に関する FNCA プロジェクトと RCA/IAEA のプロジェクトの調整 (2 月 11 日)

マレーシア原子力庁 (Nuclear Malaysia) の Marina Talib 氏が、最近の RCA の活動について報告した。RAS1014 プロジェクトが適切に実施され、目的がおおむね達成されたことが報告された。このプロジェクトの下で、およそ 50 種類の先進的放射線グラフト結合材料がさまざまなカテゴリで開発された。それらのカテゴリは、(1) 吸着剤、(2) イオン交換膜、(3) 触媒、(4) 生物活性担体、(5) 組織修復足場担体 (tissue scaffold)、(6) パーバーパレータ (pervaporator) 膜 (浸透気化分離膜)、(7) 活性包装、である。FNCA プロジェクトは、スリランカとタイの研究活動のいくつかが農業利用のための超吸水材に関するものであるため、これらの国と協力することができた。開発された製品の製造規模拡大には、参加国の間でさまざまな段階の違いがあることも報告された。過去 3 年間の RTC コースの間に、100 人以上の参加者が研修を受けた。RAS プロジェクトは 2016 年末まで延長され、FNCA の参加者は研修コースと確立された放射線グラフト結合のプロトコルから利益を得ることができよう。

セッション 11：第 5 フェーズ (2015～2017 年) の計画立案と将来計画

PGP と SWA のプロジェクトの現状と計画立案が、第 5 フェーズでの利用と実用化のためにまとめられた。プロジェクトの研究開発はそれぞれの参加国で実施された。マレーシアは、オリゴキトサンを実用化して「GoGrow」と商品名を決めた。フィリピンは、オリゴキトサンを半実用化して、「Carra-Vita」と商品名を決め、エンドユーザーに無料で配布した。参加国はフィールド試験と実用化を振興するため協力し、情報交換することを確認した。タイは SWA を土壌改良材として実用化し、製品名を「TINT SWA」とした。参加国は、フィールド試験を実施することと応用研究を立ち上げるための資金不足問題を共通して抱えている。添付 5 参照。

セッション 12：サマリー

ワークショップのサマリーは、参加者によるいくつかの修正の後、採択された。

閉会セッション

ワークショップは Dela Rosa 氏と南波氏によって正式に閉会された。

オープンセミナー：「持続可能な発展のための放射線技術の利用」（2月10日）

「持続可能な発展のための放射線技術の利用」をテーマとするオープンセミナーが、2月10日にフィリピン原子力研究所（PNRI）で開催された。このセミナーには、国内の農業と産業分野の研究所と大学からおおよそ50名が参加した。

最初に、PNRI 所長の Dela Rosa 氏が歓迎の辞を述べ、FNCA の構造と業績について説明した。次に、日本の文部科学省の青木氏と FNCA アドバイザーの南波氏も開会の辞を述べ、オープンセミナーが主宰されることについて PNRI に深い感謝の意を表明し、さらに、参加者がセミナーを楽しむよう期待した。

フィリピン（2名）、日本（1名）およびタイ（1名）の科学者から4件の講演があった。オープンセミナーのサマリーは添付3として添付している。

テクニカルビジット

参加者は、フィリピン原子力研究所（PNRI）のガンマ線と電子ビームの照射施設を訪問した。施設長の Haydee Solomon 氏がガンマ線半商業多目的施設について概要説明を行い、その施設で処理している材料を紹介した。その次に立ち寄ったのは電子ビーム照射施設であり、2014年12月に運転開始したばかりであった。2.5 MeV で100 kW 出力の電子線加速器を有するこの施設は現在、さまざまな高分子材料の放射線処理に関する研究開発活動に利用されている。参加者に対して、電子線施設の運転と、処理できる可能性のある製品に関してビデオを使った説明があった。溶液の調整から液体取り扱いシステムへの投入までのカラギーナン製造も実演で示された。最後に、参加者は放射性同位体研究施設に行き、同施設で行われているさまざまな活動について学んだ。

結論と助言

- 電子加速器利用プロジェクトの成果である PGP と SWA は、作物と野菜の収穫量増加によって、参加国に経済的利益を与えうる。
- FNCA 会議は、MEXT の支援する情報交換会合であって、植物の成長と生産量向上のための研究や圃場試験のための資金が PGP と SWA の利用のためのデータ蓄積のための原動力であるけれど、PGP と SWA の実用化振興のために大きな役割を演じてきた。
- 2015年3月のコーディネーター会合の助言が、それぞれのプロジェクトリーダー

に通知された。助言は、フェーズ 5（2015～2017 年）においてすべての参加国で PGP を実用化することである。参加国は PGP の実用化のための効果的な戦略を議論した。

- SWA の実用化段階の障害や問題を明確にするため、参加国はフェーズ 5 の実施計画を議論した。
- 農業研究所のような農業セクターとの協力作業と、バイオ肥料や突然変異育種に関する FNCA プロジェクトが、PGP と SWA の実用化を振興するために強く勧められた。

成果と計画を後（12～23 ページ）の表に示す。

[PGP]

特筆すべき業績

- タイから、圃場試験のための PGP 合成プロセスの開発が報告された。ガンマ線のバッチ照射によるオリゴキトサン PGP の製造能力は 5 万 L/月である。
- フィリピンは半商業規模でカラギーナン PGP を製造した。初期の製造はガンマ線照射施設で行われた。合計面積 37,000 ヘクタールの多地域での試験に必要な 60 万リットルを供給するため、電子ビーム施設で試験製造が実施されている。

実用化途上にある国のための助言

- バングラデシュは、作物の収穫量を増加するため、バイオ肥料グループと協力作業を開始することになっている。
- モンゴルにおいては、キトサンの放射線誘起劣化処理のため、政府の財政支援を受けて照射施設を設置することが助言されている。
- カザフスタンとモンゴルにおける短い栽培期間（6 月～9 月）は、植物の成熟期のため、生長促進が必要である。この観点では、ポット試験によって適切な植物が選択されるであろう。キトサンは、カザフスタンのために中国から購入されるであろう。

PGP を実用化している国の結論

- 研究所の照射施設で作られた PGP は、供給者によってエンドユーザーに供給された。
- バイオ肥料プロジェクトとの協力作業がインドネシアと日本で進められた。
- マレーシアは、突然変異育種で得られた新品種のイネに PGP を適用した。
- 日本は、シミュレーション・プログラムにより、キトサンの劣化のための線量と材料特性の最適条件を推定することができる。参加国からの要求を受け入れることができるであろう。

PGP 利用ガイドライン

- ガイドライン草案の内容はエンドユーザーの視点から再検討された。エンドユーザーからの問い合わせに答えるため、Q&A をリストアップした。指針は 2016 年 3 月末までに完成されて、FNCA ウェブサイトに掲載される予定である。

[SWA]

特筆すべき業績

- SWA の製造プラントがタイのガンマ線照射施設に設置され、その能力は 200 kg / 日である。
- がん治療のための線量計 / 指示計としての SWA の新しい利用が、日本によって HPC ヒドロゲルを使用して研究された。

結論と助言

- SWA の実用化を振興するため、費用対効果を評価するべきである。
- SWA 製造のためには、乾燥と粉砕が費用のかかるプロセスとなる。商業規模では、放射線処理技術の費用対効果を向上するために、製造方法を開発するべきである。
- モンゴルで応用研究を立ち上げるためには、放射線処理による SWA 調整のキャパシティ・ビルディングが必要である

※英語版原本と本和訳の間に齟齬がある場合、英語版原本が優先します。