

## 2019年度 FNCA放射線加工・高分子改質プロジェクトワークショップ セッションサマリー

### セッション2:FNCAプロジェクトの概要と成果

#### 1) 2018～2019年度のFNCA成果 (FNCA日本コーディネーター/和田智明氏)

2018年度FNCA大臣級会合において、放射線育種および放射線加工・高分子改質プロジェクトの研究開発成果を、民間セクターを含めたエンドユーザーに利用を促すこと、国際機関との連携を促進すること、および既存テーマを一層促進するのみならず新たなテーマを将来的に採択することが推奨された。放射線加工・高分子改質プロジェクトについては、2018年度より新たな研究開発テーマである動物飼料、環境修復、およびハイドロゲルの医療応用等に関する討議を開始した。すでに参加国からは、興味深い研究開発報告がなされている。

#### 2) プロジェクト概要(量子科学技術研究開発機構/玉田正男氏)

放射線加工・高分子改質プロジェクトは、電子加速器利用プロジェクトとバイオ肥料プロジェクトを統合し、2018年に新たに発足した。本プロジェクトでは、参加国のニーズを満たす下記の7つの研究開発テーマにおける基礎面および応用面でのギャップと、それに対応する実行計画を検討している。

1. 放射線分解したキトサンの動物飼料応用
2. ハイドロゲルの医療応用
3. 環境修復
4. 植物生長促進剤(PGP)、超吸水材(SWA)、およびバイオ肥料の相乗効果
5. 植物生長促進剤(PGP)および超吸水材(SWA)(プロセス開発を含む)
6. ガンマ線照射によるバイオ肥料の微生物育種
7. ガンマ線照射によるバイオ肥料のキャリア滅菌

参加国における技術移転に向けた特別なトピックは以下の通りである:

- 水産養殖における、免疫増強剤および成長促進剤としてのオリゴキトサンの販売が承認された。(放射線分解したキトサンの動物飼料応用/ベトナム)
- ハイドロゲルを創傷被覆材として使用し、150人以上の患者を治療した。(ハイドロゲルの医療応用/バングラデシュ)
- 海水ウランを採取する吸収材をベンチスケールで作製し、海水の水路実験で評価した。(環境修復/中国)

本プロジェクトは、農業、環境および医療分野における多種多様な応用につながる7つのテーマについて、今後も情報交換および討議を継続し、参加各国における研究開発およびエンドユーザーへの技術移転を促進する。

### セッション3:バイオ肥料の進捗レポート

#### 1) バングラデシュ原子力委員会(BAEC)/Dr Md Kamruzzaman Pramanik

##### 1. キトサン(PGP)およ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種類の処置、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、分けつの高さと数、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)およ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(100ppm)とバイオ肥料を化学肥料(40%)と併用することで、粒径および収量に関してある程度の影響がみられる。

## 2. 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、傷の治癒およ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 のみまたは 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または増強されるため、Co-60 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 Co-60 ガンマ線源による 25.0kGy の線量を照射した。次に、滅菌ボア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*))およびグラム陰性菌(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の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。

## 2) インドネシア原子力庁(BATAN)/ Dr Nana Mulyana

気候変動およ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およ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および

強化することで得られる。Co-60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。Co-60 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およ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。

### 3) バチルスバイオ肥料とオリゴキトサンの併用による生物的防除および生長促進効果(東京農工大学/岡崎伸氏)

我々は東京農工大学(日本国、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 株はイネおよびアブラナ科を含む複数の植物の成長を促進する。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 株の生物的防除作用と機構を理解するために、生物的防除のスペクトルの評価と、TUAT1 株の生物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一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、ダイズの成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さらに処理すると、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的防除作用因子をさらに分析し、生物的防除機構の解明とさらなる利用を目指す。

### 4) マレーシアのバイオ肥料の現状および将来的な研究(マレーシア原子力庁/Dr Phua Choo Kwai Hoe)

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。窒素およびリン酸塩可溶化遺伝子(*nif* 遺伝子および *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また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、真菌およ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、およ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。

## 5) 温室の植物に対するオリゴキトサンとバイオ肥料の効果に関する研究(モンゴル植物農業科学研究所/Ms Sunjidmaa Otgonbayar)

トマトおよ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およ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。

## 6) トウモロコシ(*Zea maize*)の収量に対するBio N微生物資材とカラギーナンが与える影響(フィリピン国立大学ロス・バニョス校/Ms Julieta A. Anarna)

化学肥料の多量施用は、土質、環境およ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。

今年、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*) および Mykovam (*Mychorhiza*))の単独およ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。すべての実験の現地条件は、BIOTECHの展示圃場およびフィリピンの州の一つ(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、および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、および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、および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トンおよび15.87トンであり、対して化学肥料ではヘクタール当たり14.16トン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トン増加した。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。20kGyのガンマ線照射を用いたBio N BFキャリア

の滅菌が利用されている。

#### 7) 液体根粒菌バイオ肥料および噴霧乾燥機で作製された粉末リン酸可溶化バイオ肥料の開発(タイ農業局/Dr Kunlayakorn Prongjunthuek)

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 YM を用いての、CMC、可溶性澱粉および MgO 等の様々なポリマーを含有するリョクトウ(mung bean)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 fluorescens* SM-P025B が、110 および 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 および室温で 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  $2.18 \times 10^8$  および  $1.16 \times 10^8$  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。

#### 8) 野菜向けビーズ型微生物肥料の作製(ベトナム原子力研究所(VINATOM)/Dr Tran Minh Quynh)

この実験では、窒素固定菌(*Azotobacter chroococcum* VACC 86)および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  $7.5 \times 10^7$  および  $2.5 \times 10^{10}$  CFU/g の *A. chroococcum* および *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% CaCl<sub>2</sub> 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、さらに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 および TCVN 8736:2011 に従って、7、30、90 および 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20kgの割合で野菜に施用した結果、この肥料が、スクリーンハウスおよび圃場の両方で栽培されたキャベツ、トマトおよ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とともに施用すると、沖積土で成長したキャベツの結球率、球の新鮮重およ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。

#### セッション4:高分子改質の進捗レポート

##### 1) バングラデシュ原子力委員会/Mr Md Saifur Rahaman

## 1. トウガラシ(*Solanaceae Genus*)およびイチゴ(*Fragariaananassa*)に対する植物成長促進剤として お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(Atomic Energy Research Establishment)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およ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。植物の成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、収穫期間および%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 および 100ppm で行われた。実験結果は、75 および 100ppm 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 および 100ppm についてそれぞれ最大 89%および 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 および 100ppm であった。すべての濃度の中で、25 および 75ppm が有意な結果を示した。実験結果は、イチゴの生産性が 25 および 75ppm についてそれぞれ最大 54%および 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 または 100ppm、イチゴで 25 または 75ppm 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。

## 2. 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% PVA および 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 医学大学病院において 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もとと受容性を拡張する取り組みとして、他の医学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 および 40°C での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、BAEC の食品・放射線生物学研究所、微生物・工業照射部(Microbiology and Industrial Irradiation Division, Institute of Food and Radiation Biology, BAEC)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 25kGy のガンマ線によって、PVA 10%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)および(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、すべ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。

## 2) 放射線によるグラフト重合および架橋による金属イオン吸着および超吸水材の開発(上海応用物理研究所/Dr Ma Hongjuan)

<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。元の繊維およ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、Cr(VI)、Cd(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% 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。

### 3) 照射キトサンの植物エリシターおよび家畜飼料添加剤への応用(インドネシア原子力庁(BATAN) /Dr Darmawan Darwis)

インドネシア原子力庁(BATAN)は、ミネラル除去、除タンパク、およ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PGP(植物成長促進剤)、植物エリシター、家畜飼料添加剤、医薬品および化粧品、ならびに、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、およびキク属(*Chrysanthemum plant*)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(ウシおよびヒツジ)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、100ppm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 および 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 500ppm 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)および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。家畜飼料添加剤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 および 500ppm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、13.8kg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 およ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、ヒツジおよび雌鶏の体重を増加させたと結論付けることができる。

### 4) 電子線による架橋を用いたハイドロゲルの調製および物性評価(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、苦いかまた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およ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一つとして、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また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、およ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、化学的およ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および 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 および 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、および、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)、ガンマ線照射法および電子線照射法(これらの方法では、ガンマ線また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、劣化および重合が起こる)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 および 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一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。セロトニンおよ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、水に溶けやすい性質を有する[19]。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 または 20%)の両方で、また、電子線量(10、30 または 50 kGy)のすべてで、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およ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。

## 5) カザフスタン JCS 原子力技術パーク/Dr Pavel Krivtsov

カザフスタンは、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、PNT 原子力技術パークは、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 実験ステーションおよび営林 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/ヘクタールを使用後、ヒヨコマメの収量が 180%増加し、SWA 50 kg/ヘクタールを使用すると 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 トン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 年中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。

## 6) マレーシア原子力庁における高分子の放射線加工に関する研究開発および実用化活動(マレーシア原子力庁/Ms Maznah Binti Mahmud)

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 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、化学的およ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、バイオポリマーおよび合成ポリマー改質における確立されたツールの一つとなっている。現在、NM 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 およびオリゴカラギーナン/SWA 施用、および、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) 施用が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、およ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、薬物キャリアおよび 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を示している。

## 7) 植樹および混合培養系による物理的劣化土壌の生物学的環境修復 (モンゴル国立大学/Dr Chinzorig Radnaabazar)

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ヘクタールであり、修復された土地は、第1段階において4630.3ヘクタール、生物学的に修復される第2段階が4587.6ヘクタールであった。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。

#### 8) 放射線加工を施したポリマー材料の様々な応用(フィリピン原子力研究所(PNRI)/Ms Charito Aranilla)

カラギーナン PGP は最近、Vitalgro および Aqua Oro という商標名で、DOST-PNRI のライセンスを得た 2 社の企業(MTPSI および HLTICI)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ー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 および HLTICI 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)および照射線量という点での最適パラメータが生成され、これらのパラメータ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および k-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およ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。

#### 9) タイにおける放射線加工の応用(タイ原子力技術研究所(TINT)/Dr Phiriyatorn Suwanmala)

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、環境および農業を含む様々な分野で利用されている。施設はガンマ線およ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、抗酸化作用およびその他の関連する機能的アッセイを実施した。ガンマ線および電子線処理は微生物汚染を低減また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(USA)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、農作物およ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、トウガラシの成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、染料吸着剤およ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

ティングが使用された。

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、キチンおよ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、生分解性および生体適合性)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およ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およ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。

#### 10) 細胞培養の足場材としての放射線架橋ゼラチン/カルボキシメチルキトサンハイドロゲル(ベトナム原子力研究所(VINAOM)/Dr Duy Ngoc Nguyen)

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、高分子化合物およ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、および7/3の異なる重量割合でのゼラチン/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 μm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。調査したすべ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)および孔サイズ120~250 μm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。

#### セッション6&7: 成果、課題、計画に関する討議/発表

参加者は7組のグループに分かれ、各国で予想される下記のニーズについて、基礎面から応用面におけるギャップと実行計画を討議した。

- A) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用
- B) ハイドロゲルの医療応用
- C) 環境修復
- D) 植物生長促進剤(PGP)、超吸水材(SWA)、およびバイオ肥料の相乗効果
- E) 植物生長促進剤(PGP)および超吸水材(SWA)(プロセス開発を含む)
- F) ガンマ線照射によるバイオ肥料の微生物育種
- G) ガンマ線照射によるバイオ肥料のキャリア滅菌

結論は以下の通り:

- A) 放射線分解したキトサンの動物飼料応用  
現状

- ベトナム: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た。フィールド試験が終了し、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。エビの免疫機能を高めるため、セレンナノ粒子とオリゴキトサンの組み合わせによる試験を継続する。
- タイ&マレーシア: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。
- インドネシア:動物飼料としてのオリゴキトサンの作製手順が確立された。オリゴキトサンと動物飼料の組み合わせによる試験を継続する。また、オリゴキトサン適用における最適条件を探るべく、試験を行う予定である。

#### 残されている/新たな課題

- 生産性向上における市販品に対する競争力
- 予算の制約
- 登録—動物飼料としての登録が困難
- ベトナム—RIと第三者機関の協力による工場の建設および販売承認の取得
- パブリック・アクセプタンス—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

#### 基礎面でのギャップ

- 動物の成長促進や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

- 市販品との競合
- 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

- タイおよびマレーシア:試験を開始する。
- インドネシア:オリゴキトサンと動物飼料を用いた試験を行い、適用の最適条件を探る。
- ベトナム:RIと第三者機関の協力による、工場の建設および販売承認の取得。エビの養殖において、オリゴキトサンとセレン粒子の組み合わせによる試験を実施する。

## **B) ハイドロゲルの医療応用**

### 現状

- 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)
- 品質寿命に関する研究の実施(バングラデシュ)
- キトサンを利用した抗菌活性の取り込み(バングラデシュ)

### 基礎面でのギャップ

- 薬物分子のハイドロゲル中への拡散挙動。DDS に応用するために、どのように拡散挙動を制御するか。
- 希望する機能(pH や温度感度)をどのようにハイドロゲルに仕込むか。
- 特に水溶性の API といった薬品を、どのようにハイドロゲルに効率的に仕込むか。
- ハイドロゲルの物理特性および化学特性
- 薬物動態特性
- 病原性データ獲得のための薬理効果研究

### 応用面でのギャップ

- ハイドロゲルの適用に際し、倫理的問題をどのように導入するか。
- 製造されたハイドロゲルの恩恵について、後援者と関係当局に周知する。
- ハイドロゲルの製造に原子力技術を有意義に応用していることを関係当局に周知し、広島と長崎における原子力爆弾や福島第一原子力発電所にまつわる恐怖を克服させる。

### 実行計画

- 計画完了の道筋を明確にするための、政府、大学、製薬会社等の職員を交えた橋渡し研究
- 製品を売り出すための第一歩となる安全評価基準を盛り込む。
- 薬理作用研究のための協力
- 公衆への周知のために医師と協力する。

## C) 環境修復

### 現状

#### <2018年からの改善点>

- 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。
- 採掘現場に植樹することで、生物学的環境修復研究が向上。  
バイオ肥料を利用したファイトレメディエーション。(モンゴル)
- 前年の研究を延長(ベトナム)
- カドミウムや炭化水素によって汚染された土壌、植物病原性のフザリウム属菌の生物防除、金の採掘現場、生物学的に施肥された低栄養な農地等における実験の実施(インドネシア)

#### <残されている/新たな課題>

- 繊維排水のみが、電子線と生物学的方法を組み合わせた方法で処理されている。その他の排水についても、更なる研究が必要。
- 従来の方と組み合わせた吸着剤の研究が必要。コスト管理のため、技術的手法で吸着する必要はある。

### 基礎面でのギャップ

- 実験変動を取り除き、一貫性を維持する。

### 応用面でのギャップ

- 中国: 金属イオン吸着剤のコスト削減
- モンゴル: 資金調達の機会が限られている。  
従来の方ととの競争
- ベトナム: 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

- 中国: 金属イオン除去およびウラン抽出のための吸着剤のスケールアップ。  
コスト削減のため、放射線と別の方法を組み合わせる。
- モンゴル: 他の研究者との協力
- ベトナム: 繊維工場からの染色排水について、電子線と生物学的方法を組み合わせた大規模な処理を2年間(2020~2021年)実施する。

- 全体的な統計によると、モンゴルでは採掘現場の 22.4%しか適切に修復されておらず、放棄された採掘現場が多数存在する。成功した生物学的環境修復の経験と方法を、他の研究者に広める必要がある。
- 中国では天然海水から 5g を超えるウランが抽出された。来年には吸着剤を 10kg にスケールアップし、100g のウランが抽出される見込みである。
- ベトナムの繊維工場から排出された染色排水が、電子線を利用して研究室規模で初めて完全に分解された。
- 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%)。

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

##### 現状

- バングラデシュ: PGP および *Azospirillum* 属細菌の相乗効果について、イネを試験用の穀物として使用しセミフィールドレベルで試験した。相乗効果は見られなかったが、収量にいくつかの複合効果が見られた。
- インドネシア: 白コショウに対する相乗効果の試験をセミフィールドレベルで実施した。結果として、相乗効果よりも複合効果が見られた。
- 日本: ポット試験において、オリゴキトサンを追加したバチルスバイオ肥料を大豆に適用したところ、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ことができた。研究の結果、病害抑制について相乗効果が見られた。
- フィリピン: BioN とカラギーナン PGP の相乗効果について、試験用穀物としてトウモロコシを使用しフィールド試験を行った。結果として、収量に対する決定的な相乗効果は見られなかった。
- モンゴル: オリゴキトサンとバイオ肥料の相乗効果について、温室でアマトウガラシとトマトのポット試験を実施した。結果として、収量に高い相乗効果が見られた。
- 全ての参加者が、実施された研究で穀物の収量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。ただし、日本の場合は病害抑制について相乗効果が観測された。

##### 基礎面でのギャップ

- 収量には明確な相乗効果は見られなかったが、病害抑制には有望な結果が得られた(日本)ため、確認実験が推奨される。
- 以下の点のどちらかについて、PGP とバイオ肥料/微生物の相乗効果を確認する。
  - (1) 収量
  - (2) 病害抑制

##### 応用面でのギャップ

- 資金および人手不足
- 実験の統一性

##### 実行計画

- 新たな実験/繰り返しの実験に、いくつかの修正を加えて実施する。
- 推奨される修正点:
  - (1) 微生物の生存率向上

- Nana 氏は、微生物をマグネシウムが含まれる培地で培養したり、ケイ酸塩を添加したキャリアに接種したりすることで、生存率を向上させることを提案した。
  - ピートのシリカ濃縮:砂とピートを 1:4 にする
- (2) 適用/処理
- 生存テスト実施後、オリゴキトサンとバイオ肥料を混ぜる
- (3) いくつかの修正を加えた新たな実験/繰り返しの実験
- 異なる穀物のポット試験/温室試験(モンゴル)
  - コムギといくつかの野菜に対するバイオ肥料とオリゴキトサンのフィールド試験/相乗効果

#### 次フェーズの R&D 計画(2021 年~2023 年)

- 最高品質のキャリア資材とバイオ肥料を開発し、実用化する(モンゴル)

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

#### PGP に関する成果

- バングラデシュ、ベトナム:
  1. フィールド試験(イチゴ、トウガラシ、トマト)
  2. 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)およびバングラデシュ農業研究所(BARI)との広範な協力
  3. 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
- タイー準実用化商品
- モンゴルー研究活動

#### SWA に関する成果

##### <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>

- 植物生長促進剤およびエリシターの基本的なメカニズム

- 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 κ-カラギーナンの二糖類単位と類似していることは分かったが、二糖類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>

- 生分解性向上のための最適条件

応用面でのギャップ

<PGP>

- いくつかの国における製品の登録
- フィールド試験での適用を実施していない国がある
- 資金不足
- 人材不足

<SWA>

- 高い乾燥費用
- 高い製造費用
- 見込まれるエンドユーザーらが、従来の慣例の変更および科学技術の受容に後ろ向きである。

実行計画

<PGP>

応用研究:

- PGP の応用を、他の穀物 (例: 葉野菜、果物、マメ科植物、トウモロコシ等) にも拡大する。
- PGP とバイオ肥料を組み合わせる
- 研究をフィールドレベルに進展させる。
- 人材不足解消のため、協力を拡大する。
- 資金不足解消を推進する。
- 論文発表のため、データ作成とフィールド試験報告を重視する。
- 実用化を重視する。

<SWA>

基礎研究:

- 持続放出のため、農薬を SWA に仕込む
- SWA の生分解性を向上させるための新たな生分解性原材料

応用研究:

- 製造コストを削減する目的で、大規模生産に適した機械を決定する。
- SWA+バイオ肥料および SWA+無機肥料の組み合わせを試験する。

技術移転:

- 実用化に向けた努力を強化する。
- エンドユーザーの受容を高めるため、エンドユーザーへの技術振興に向けますます努力する。

## F) ガンマ線照射によるバイオ肥料の微生物育種

現状

<成果>

- 多機能微生物の検索。ただし、各国が異なる微生物種と機能について研究を行っている。

<残されている/新たな課題>

- 多機能微生物の検索。ただし、各国が異なる微生物種と機能について研究を行っている。(高いリグニン分解活性、セルロース分解活性およびキチン分解活性)
- 変異菌株のスクリーニング後に PCR-RAPD 法で評価し、ガンマ線照射が変異菌株に確実に影響を与えていることを確認する。

#### 基礎面でのギャップ

- ガンマ線照射によってランダム変異体が生じた。イオンビームを利用することで、ターゲットとする変異体が生じる可能性が高くなると期待される。
- ガンマ線照射によってランダム変異体が生じるため、そのランダム変異体の生物活性をスクリーニングする必要がある。
- スクリーニングおよび選抜方法における従来技術 vs 先端(ロボット)技術

#### 応用面でのギャップ

- 各国で異なる要件(微生物株、機能、方針、法律等)

#### 実行計画

- 微生物の安定性を検査し、よりよい新たな微生物を獲得する(インドネシア)
- 変異菌株を用いたフィールド試験(インドネシア)
- 多機能微生物とオリゴキトサンの相乗効果(マレーシア)
- SWA および PGP を用いた異なる穀物に対するポット試験/温室試験
- ガンマ線照射を利用した *Trichoderma* およびその他バクテリアの育種
- 変異体のポット試験および温室試験(ベトナム)
- ガンマ線照射を利用していくつかのバクテリアの育種を行い、その変異体をポット試験/温室試験する(中国)

#### 2019 年の成果

- 4 種類の変異菌株: *Phareochaete chysosporium*、*Trichoderma harsianum*、*Trichoderma viridie* および *Trichoderma reesei*(インドネシア)
- キャリア滅菌、バイオ肥料の実用化、バイオ肥料とオリゴキトサンの相乗効果、およびガンマ線を用いたバイオ肥料の微生物の突然変異生成および突然変異育種(マレーシア)

#### 次フェーズの実行計画(2021 年~2023 年)

- 生物防除剤および植物成長剤としての糸状菌変異体の開発/実用化(インドネシア)
- 技術移転/実用化(マレーシア)
- 植物病害抑制のための生物防除剤としての多機能バイオ肥料の開発(マレーシア)
- 新たな PGP/オリゴカラギーナン(マレーシア)
- フィールド試験および評価(中国、ベトナム)
- 技術移転/実用化(インドネシア、ベトナム)
- フィールド試験および評価(中国)

### G) ガンマ線照射によるバイオ肥料のキャリア滅菌

## 現状

FNCA の全てのバイオ肥料プロジェクト参加者が、ガンマ線照射を利用したキャリア滅菌によりバイオ肥料の品質が向上し、保存期間が延長することに同意した。しかし、いくつかの国におけるバイオ肥料のキャリア滅菌のためのガンマ線の利用のしやすさについては改善の余地がある。

## 基礎面でのギャップ

放射線技術、特にガンマ線施設に関する公衆の認知不足

## 応用面でのギャップ

- 照射価格/コスト。ガンマ線照射は、従来の滅菌(蒸気滅菌)よりも高価である。
- 施設の利用のしやすさ。
- ガンマ線照射施設までの距離。エンドユーザー(バイオ肥料製造業者)との距離が離れている。

### (インドネシア)ガンマ線照射が微生物資材の化学的性質に与える影響

結果:

キャリア滅菌にガンマ線照射を利用することは、オートクレーブ滅菌よりもはるかに優れている。オートクレーブ滅菌の場合、キャリアの化学性を大きく変化させ微生物に対して毒性を持たせるが、ガンマ線による滅菌の場合の化学性質の変化は小さい。そのため、バイオ肥料中の微生物の生存に影響を与える。

### (ベトナム)バイオ肥料のキャリアの改善

結果:

放射線加工したでんぷんは、従来のキャリア(ピート、イネ藁、ベントナイト、粘土等)に取って代わる高分子キャリアの主成分として利用可能である。キャッサバでんぷんの吸水率は、約 5kGy のガンマ線照射によって改善される。この加工されたでんぷんは、滅菌不要の高品質キャリアとしてそのまま使用することができる。

### (フィリピン)Bio N のキャリアに対する 20kGy のガンマ線照射による滅菌の応用

結果:

フィリピンは、Bio N の微生物資材の持続可能な製造のため、大規模生産においては 20kGy のガンマ線照射滅菌を利用している。

## 次フェーズの実行計画

- インドネシア、ベトナム、フィリピン  
より品質の良い BF キャリア製造のため、民間企業に対して研究開発活動への参加と協力を促す。持続可能な農業生産のため、官民ともに新たな照射施設を建設する。
- (インドネシア)  
政府(BATAN)に対し、ガンマ線照射を利用した滅菌を優先し、より関心を持つよう説得する。
- (ベトナム)  
バイオ肥料の異なる種類のキャリアに関する最適線量データベースの開発。  
民間の照射企業への技術移転および滅菌への電子線応用の改善
- (フィリピン)

低線量でのガンマ線照射滅菌が可能な高品質キャリア用でんぷんの開発

以上

※本和訳は仮訳であり、原文との相違がある場合には原文を優先いたします。