

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

インドネシアにおける統合バイオリファイナリーシステムの開発
(2013年11月～2018年11月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：荻野 千秋（神戸大学 大学院工学研究科 准教授）
2. 2. 相手側研究代表者：PRASETYA Bambang（インドネシア国家標準庁 (BSN) 長官）

3. 研究概要

インドネシアには多様なバイオマス資源があり、サトウキビやオイルパームなどの世界有数のプランテーションが多く存在している。製糖工場や搾油工場から排出される大量のバガス(サトウキビの搾りかす)やオイルパームの空果房(Empty Fruit Bunch: EFB)等の廃棄物は有用なバイオマス資源であるにもかかわらず、いまだ有効利用されておらず、場合によっては環境に対する負荷の原因となっている。

本プロジェクトでは、このようなバイオマス資源の豊富なインドネシアにおいて「バイオマスの有効利用によるバイオリファイナリー体系」の構築に取り組み、インドネシアにおけるバイオリファイナリーの概念が広く社会実装されることを目的とする。そして、将来的には石油資源に依存する社会からの脱却を目指した化学産業の興隆を目指す。

具体的には、製糖工場や搾油工場から産出されるバガスやオイルパーム空果房等の難分解性セルロース系バイオマス为原料とし、インドネシアに豊富に存在する微生物資源を利用してバイオ燃料やバイオ化学品等の有用物質の生産を行うためのバイオリファイナリー体系を構築し、社会実装を図る。具体的な研究項目は以下の5つである。

- Output 1: 効率的なバイオマス前処理条件の確立
- Output 2: バイオマス分解に適した酵素の評価
- Output 3: バイオ燃料とバイオ化学品を生産する微生物開発と発酵
- Output 4: バイオマスからバイオベースポリマーを開発
- Output 5: フィージビリティスタディと統合バイオリファイナリープロセス構築

4. 評価結果

総合評価 （A： 所期の計画と同等の取り組みが行われ、成果が期待できる）

バイオマス前処理条件では水熱処理＋有機酸の効果が検討され、マレイン酸処理が希硫酸処理に替わりうる可能性が示され、マイクロ波処理についても検討された。前処理後のバイオマス分解では、わが国の独立行政法人製品評価技術基盤機構が提供する NBRC 株とインドネシアの LIPI-RC Biotechnology の BTCC 株を供試して、リグノセルロースの糖化に必要なセルラーゼ活性等を有する放線菌の有望株を見出し、遺伝子クローニングとそれを用いた野生株の形質転換株から酵素の精製を行なった。アルコール発酵または乳酸発酵を行なう酵母菌についても NBRC 株と BTCC 株のスクリーニングを行い、アルコール発酵では新たなタンパク質表層提示システムを構築して、セルラーゼの提示が見込まれる菌株を見出し、また乳酸発酵では pH2 以下、乳酸濃度 50g/l に耐性のある菌株を見出した。一方、乳酸重合体等のバイオポリマーや新素材の開発は主にインドネシア側が担当し、進捗しつつある。また、インドネシアに統合バイオリファイナリー概念を社会実装し、企業化に向けた活動を行なう課題の進捗も着実に進んでいる。このように、所期の計画と同等の取り組みが行なわれ、成果が期待できる。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトでの統合バイオリファイナリーの科学的中心課題は、サトウキビ製糖残渣のバガスやオイルパーム搾油残渣である空果房 (EFB) の希硫酸処理に替わる前処理技術の開発・実用化とリグノセルロース糖化およびアルコール発酵や乳酸発酵にインドネシア土着の微生物資源を利用し、実用化を図ることである。

両国の研究者がそれぞれの担当課題をよく理解し、すでにインドネシア側にも日本と同等の分析機器が整備されたこともあって、バイオリファイナリーの個々のプロセスについての研究が両国で順調に進捗している。特にバイオマス分解にかかわる酵素の評価とその生産微生物についての検討が順調に進んでおり、また、両国の化学工業関連企業の交流を推進したり、統合バイオリファイナリー概念を社会実装する活動等により企業化に向けた活動も着実に進んでいる。このような進捗状況及び成果に基づいて、中間評価では所期の計画と同等の取り組みが行なわれてきたと評価された。

アルコール発酵の過程で使用した酵母菌に新たな表層提示タンパク機構がすでに見出されており、この点で、国内外の類似研究とは一線を画しており、またこれは特許出願にいたる可能性を秘めた成果と言える。一方で、実用化のためには前処理技術から微生物利用技術までコスト評価が求められる。例えば、前処理に硫酸の代替えとしてマレイン酸が利用可能であることが実証され、マレイン酸は硫酸処理後に必要な酸性中和処理を不要とするメリットはあるが、実用化のためにはその技術が生産コスト上現行技術に比較して有利かどうか、有利さはどの程度か等についての評価が必要である。また、乳酸重合体等のバイオポリマーや新素材の開発は主にインドネシア側が実施しており、進捗は見られるものの、ほかの課題に比べて遅れが見られることは否めない。さらに、本プロジェクトでは、

インドネシア生物資源センター(Indonesian Culture Collection: 以下、「InaCC」と略)の放線菌や酵母等もスクリーニングすることとなっており、2016年4月に本プロジェクトへの酵母菌株の分譲が行なわれたところであるので、今後の成果が期待される。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

日本で博士学位を取得したインドネシア人研究者を特命助教として雇用し、カウンターパート側のプロジェクトマネージャーも日本で同等の学位を取得した研究者であり、参画メンバーも日本で学んだ経験を有する者が多い。このことがプロジェクトの運営上有効に機能していると言える。研究代表者の渡航は年数回でいつも短期間に限られているが、インターネットを活用して頻繁に協議・指導しており、これまでのところリーダーシップには特段の問題は見られない。研究の進捗状況にかかる打合せ、セミナーの定例化による意識向上に努めている点は高く評価したい。

インドネシアで放線菌や酵母の解析等を行う際、神戸大学の分析機器と遜色のない機材が整備されており、神戸大学の特命助教が渡航の折にコンディショニングや使用方法を研修している。また、インドネシア側から研究者や留学生等を神戸大学に招き、機器使用のための技術研修を実施しており、全体として、現状では国際共同研究が効率的・効果的に進んでいると言える。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

今後は、新たなバイオマス前処理技術の開発と実用化、インドネシア起源の微生物の利用に関わる新規表層提示タンパク機構の解明と実用化などの成果が期待される。

プロジェクトの後半では、目標達成に向けた選択と集中が必要となるが、その観点から、バイオベースポリマーの開発については他のアウトプットとは異なり、統合バイオリファイナリーのシステム開発からやや離れた課題であることを認識した上で、今後は適切な資源配分を行なって研究を進めることが必要である。

さらに、これまで、バッチシステムとして個別に研究してきたそれぞれのバイオリファイナリープロセスをいかに統合し、これまで廃棄されてきたバイオマス資源からバイオエタノールと乳酸生産までを一連のプロセスとする技術開発とその実用化をモデル実証することを目指してもらいたい。そのためには、“統合”バイオリファイナリーの概念を関係者間で共有することが重要である。

人材育成の面では、本プロジェクトの研究代表者が若手研究者であり、プロジェクトに参画する学生にはインドネシア人留学生が多く、日本人学生との研究室レベルでの交流も盛んになされているので、若手研究者の育成が進んでいると言える。しかし、日本大学院生のインドネシアへの渡航はこれまではなく、日本人人材の国際協力人材としての育

成はなされてきたとは言えない。今後は、日本人学生や大学院生の渡航を促進するなど、より一層、日本人の若手人材の育成にも注力していただきたい。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込み

本プロジェクトでは、日本で学んだ研究者が多く関わっており、人的交流の構築の見込みは高く、大いに期待できる。また、インドネシアの国費留学生が多いことも特筆に値する。フィジビリティースタディでは両国の民間企業の交流を促進し、企業化を目指しているが、この面での人的交流もさらに進めてもらいたい。バイオリファイナリーの企業化には、両国の企業間の技術供与等の連携に加え、経済的インパクトやキャッシュフロー等の評価や企業としての持続性等の評価が前提であり、現況下ではすぐに企業化に至ることは難しいと予想される。今後も public-private-partnership (PPP) によって両国の研究機関と関連企業の交流を進め、日本企業の参画を促進し、インドネシアにおいてより強固なバイオリファイナリー産業の基盤構築がなされることに期待する。

また、インドネシアでは現大統領のリーダーシップの元にサイエンステクノパークが設置され、LIPI-RC Biotechnology はインドネシア科学院 (LIPI) の中心研究センターに指定された。統合バイオリファイナリーのパイロットプラントを建設して、前処理産物からの酵素製剤を用いた発酵処理によるアルコール生産までの一連の工程をモデル実証することは、本プロジェクトの成果を基とした社会実装を推進する上で社会的に大きなインパクトを与えることが期待される。

5. 今後の課題

- 1) 本プロジェクトの目的は、インドネシアにおける統合バイオリファイナリーシステムの開発であり、バイオマスの有効利用によるバイオリファイナリー体系を構築し、社会実装することであることであるが、“統合”についてどのように考えるのか関係者間で共通認識を図り、プロジェクトの到達目標を明確にして、今後はプロジェクトを戦略的に進めていただきたい。そして、全体システムの中での個別技術の評価を行い、基礎的な研究の追究から統合バイオリファイナリーの一連のプロセスのモデル実証へシフトすることが必要である。
- 2) プロジェクト開始前は年間 1000 万トンの余剰すべてを利用できると予想したが、これまでの研究や調査の中で、インドネシアでは、バガスは製糖工場で主に発電のための燃料源として使われており、あまり余剰がなく、バイオリファイナリーの原料としてのポテンシャルがそれほど大きくないことが明らかとなったため、今後はパームオイル残渣にしぼって研究を進めることが望ましい。

- 3) 本プロジェクトにおいて、フィージビリティスタディと統合バイオリファイナリープロセスの構築やサイエンステクノパークでのモデル実証を行うこと及び日本企業の参入も視野に入れた取組みが実現すれば、社会的に大きなインパクトを与えるに違いなく、今後の展開が期待される。
- 4) 本プロジェクトでは、バイオマスからバイオベースポリマーの開発にも取り組んでいるが、バイオエタノール・乳酸の生産、乳酸重合体の生産・商品化の一連のプロセスの中で、プロジェクトの残りの期間でどこまで研究を進めることができるのか見通しの再検討を図ることが望ましい。
- 5) これまでに見出した新たな表層提示タンパク機構は特許出願にいたる可能性を秘めており、今後の特許出願や研究成果の論文等知的所有権の申請・獲得に期待する。
- 6) プロジェクト終了後の持続的な発展を担保するうえで、今後の特許出願や研究成果の論文発表の促進および相手国での学术交流や国際シンポジウムでの発表勸奨等による日本人若手人材の育成にも注力していただきたい。

以上

研究課題名	インドネシアにおける統合バイオリアファイナリーシステムの開発
研究代表者名 (所属機関)	荻野千秋(国立大学法人神戸大学大学院工学研究科)
研究期間	H24財団 平成25年11月から平成30年11月(5年間)
相手国/主要 研究機関	インドネシア共和国/インドネシア科学院(LIP)

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	日本のバイオマス関連化学企業とインドネシアの企業の情報交換を通じた、ジョイントベンチャー(JV)の可能性を模索
科学技術の発展	機能未知のインドネシアの生物資源の産業界への還元
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	特許出願【予定】 名古屋議定書に従ったインドネシア微生物資源の工業利用計画の確立
世界で活躍できる日本人人材の育成	インドネシア大学と神戸大学の国際単位互換システムの創設【予定】
技術及び人的ネットワークの構築	国費留学生として複数名を受け入れ、本分野のインドネシアでの学問領域の普及を図る
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> ・査読付論文掲載 ・バイオマス白書の作成 ・国際会議 ・招待講演 ・新聞

上位目標

化石資源と競合しない非可食性バイオマス資源を用いたバイオ燃料・バイオ化学生産に関わる基盤技術(バイオリアファイナリー)の成果がインドネシアをはじめとするバイオマスを豊富に生産する東南アジアの国々に広く還元される。

バイオリアファイナリー技術体系が政府機関、民間企業などに認められ、低炭素社会の構築に向けて、化学企業などに於いて社会実装に向けた取り組みが着手される。

プロジェクト目標

バイオリアファイナリー技術の体系化に必要なバイオマス前処理、バイオマス分解酵素開発、微生物宿主の分子育種(代謝工学、及び細胞表面工学)、及び膜分離技術を用いた発酵試験液濃縮技術を確立し、バイオマス利活用対策及び科学技術水準の向上につながる新たな知見を集積する。

- ① バイオマスからの低コストなバイオ燃料及びバイオ化学品の製造技術が構築され、これらの社会実装が行われる
- ② バイオ膜分離およびバイオプロセスの一貫化によるバイオ燃料及びバイオ化学品の環境適応型生産技術が構築され、社会実装に向けた基盤構築を行う

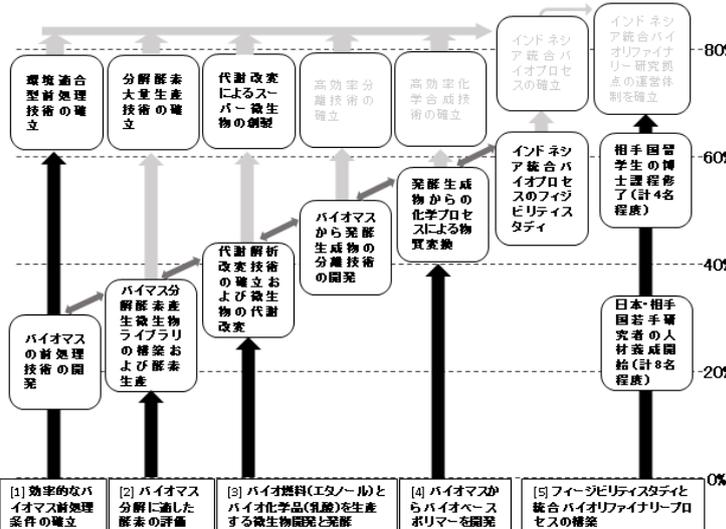


図1 成果目標シートと達成状況(2016年5月時点)