

終了時評価調査結果要約表

1. 案件の概要	
国名：インドネシア共和国	案件名：熱帯荒廃草原の植生回復を通じたバイオマスエネルギーとマテリアル生産プロジェクト
分野：環境・農業	
所轄部署：経済開発部 農業・農村開発第一グループ	援助形態：地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
協力期間：2016年7月～2022年7月	協力金額（評価時点）：3.18億円
日本側協力機関：京都大学	先方関係機関：インドネシア科学院 (Indonesian Institute of Sciences : LIPI) [現国立研究革新庁 (National Research and Innovation Agency (Badan Riset dan Inovasi Nasional) : BRIN)]
1-1 協力の背景と概要	
<p>インドネシア共和国（以下、「インドネシア」と記す）は、面積約 189 万 km²、人口約 2.7 億人（2020 年）を有する島嶼国家である。実質経済成長率は年率 5～6%で堅調に推移してきており、名目 GDP（国内総生産）は 2005 年の 2,859 億ドルから 2020 年には 1 兆 600 億ドル（世界 16 位）まで達し、ASEAN 加盟国中で最大の経済規模を誇っている。順調な経済発展の一方で、今後も増え続けると予測される人口に対応するエネルギーの安定的供給、温室効果ガス（Green House Gas : GHG）排出の削減と持続的な成長の達成など新たな課題に直面している。インドネシア政府は代替エネルギー及び再生可能エネルギーの利用を促進し、石油への依存を軽減するための努力を続けており、国家エネルギー審議会（2014 年 3 月）が制定した「エネルギーの安全保障と自立に向けた国家エネルギー政策の新しい枠組み」において、化石燃料の消費と森林資源の破壊による GHG 排出の急激な増加を喫緊の国家的課題であると定めた。このような課題に対応するため、インドネシア政府は 2060 年に GHG 排出量ゼロをめざすエネルギー革命のロードマップを作成した。</p> <p>他方、インドネシアでは第 2 次世界大戦後、熱帯雨林資源が大規模かつ集中的に開発されており、無秩序な伐採、焼畑農業、森林火災、大規模プランテーションなどによって失われた森林跡地の大部分で、イネ科雑草の一種であるアランアラン (<i>Imperata cylindrica</i>) と呼ばれる多年生植物が繁茂している。この植物はやせた土地でよく成長し、乾燥や火災にも強いため、インドネシアだけでなく、世界中の熱帯・亜熱帯地域で幅広く繁茂している。インドネシア国内では 10 万 km²（日本の国土面積の 1/3 弱）以上に及ぶ広大な荒廃草原を形成しており、環境保全の観点からこのような荒廃草原の管理は主要な地球規模の課題となっている。前「中期国家開発計画 [RPJMN (Medium-Term National Development Plan) 2015-2019]」においても、農業開発と環境保全の観点からアランアラン荒廃草原を含む生産不適地 (marginal land) をより生産的な土地（農地や人工林等）に転換することを、インドネシアにおける優先課題として位置づけている。</p> <p>当時のこのような背景の下、「熱帯荒廃草原の植生回復を通じたバイオマスエネルギーとマテリアル生産プロジェクト」（以下、「本プロジェクト」と記す）は、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)」案件として、京大生圏研究所を日本側代表研究機関、インドネシア科学院 [LIPI、現在の国立研究革新庁 (BRIN)] をインドネシア側代表研究機関として、2016 年 7 月に開始された（その後、2020 年以降に新型コロナウイルスの感染が拡大したため、協力期間は 1 年延長された）。本プロジェクトは、エネルギー作物、特にソルガムをアランアラン荒廃草原にて生産し、バイオ燃料及びバイオ材料として使用可能なバイオマスの生産技術の開発を目標としている。</p>	

1-2 協力内容

本プロジェクトは、バイオマス作物生産のための施肥法、荒廃草原の植生回復手法、イネ科バイオマス植物の開発、リグノセルロース系由来素材製造技術の研究を通じ、アランアラン荒廃草原活用によるバイオマス燃料・素材の生産技術を開発し、もって持続可能な社会モデルの構築に寄与するものである。

(1) 上位目標

インドネシアにおいて、革新的バイオエネルギー及びバイオ材料技術によって持続可能な社会の構築モデルが開発される。

(2) プロジェクト目標

アランアラン荒廃草原活用による持続的バイオマスエネルギー及びバイオマス材料の生産技術が開発される。

(3) 成果

1. 高エネルギーバイオマス植物生産のための施肥法が確立される。
2. 荒廃草地を植生回復させる転換工程が確立される。
3. 育種による高発熱量を含むイネ科バイオマス植物が開発される。
4. イネ科植物を原料としたリグノセルロース材料を生産するための低環境負荷型技術が確立される。

(4) 投入¹（終了時評価時点）

日本側：総投入額 3.18 億円

長期専門家派遣	1 名	機材供与	1.05 億円
短期専門家派遣	13 名	現地活動費	0.5 億円
研修員受入れ	10 名		

インドネシア側：

研究員配置	75 名	活動経費	0.5 億円
研究施設改修	6 施設	機材（ジェネレーター）供与	
執務スペース（オフィス家具含む）の提供			

¹ 1 インドネシア・ルピア=0.00888 円（JICA 精算レート 2022 年 5 月）で計算

2. 評価調査団の概要			
調査者 (敬称略)	担当分野	氏名	所属等
	〈日本側〉		
	団長	齋藤 美穂子	JICA 経済開発部農業・農村開発第一グループ 主任調査役
	研究評価	浅沼 修一	JICA 経済開発部 特別嘱託
	評価分析	石飛 愛	合同会社適材適所 コンサルタント
	〈インドネシア側〉		
団長	Sulaeman Yusuf	BRIN 応用動物学研究センター 上級研究員	
調査期間	2022年5月8日～2022年5月27日		評価種類：終了時評価調査
3. 評価結果の概要			
3-1 実績の確認			
(1) 成果1：達成済み			
<p>土壌微生物の DNA 分析による微生物相構成の変化と植物の栄養状態のモニタリングに効果的な技術の特定と活用を通じて、環境に著しい負の影響を与えることなく、農業省 (Ministry of Agriculture : MOA) の推奨量より少ない施肥量でアランアラン荒廃草原でソルガム栽培が可能であることを示した。またソルガムの生産性を向上し、乾燥耐性を高めるための菌根菌の接種を含む施肥法も開発した。これらの研究結果により、施肥量の減少を通じて、環境面及び経済面からアランアラン荒廃草原における、より持続可能なバイオマス生産と CO₂ 排出量の削減に貢献する成果が得られた。したがって、成果1では予定した成果を達成したと考えられる。</p>			
(2) 成果2：達成済み			
<p>成果2では、コンポストの施用と間作を通じて、ソルガム栽培が土壌微生物相と植生の多様性向上に貢献することを示した。加えて、成果1で開発された施肥法の実施を通じて、土壌微生物相と植生の多様性を損ねずに、試験圃場 (アランアラン荒廃草原) におけるバイオマスソルガム (成果3で開発された品種を含む) の生産性が大きく向上し得ること (20～60%の増量) を実証した。さらに、生産不適地においてソルガムとの間作の候補となる植物の情報を整理し、ウェブ²上で共有した。これらの成果により、ソルガムと多様な植物の間作等を通じて、生産不適地を生産地に変換するための重要な科学的な知見が得られ、技術ガイドラインにまとめられた。成果2のナラティブ・サマリーはやや幅広い内容になっているものの、指標の達成状況から判断して、成果2も予定した成果を達成したと考えられる。</p>			
(3) 成果3：達成済み			
<p>終了時評価時点までに、現行品種と比較してバイオマス生産性が高く (36%増加)、リグニン含量が多い (27%増加) ソルガム系統を2系統³選抜し (このうちの一つは乾燥耐性にも優れている)、γ線照射を行い、育種を行った。したがって、成果3を通じて、アランアラン荒廃草原での生産と効率的なバイオエネルギー生産に適したソルガム系統の開発に成功した。また、成果3では、リグニン含量の増加 (最大53%) と、高発熱型リグニンの増加 (G型リグニン：27%増、H</p>			

² <http://webgis.satreps.lipi.go.id/>

³ Konawe Selatan (KS)と Sorghum Malai Mekar (SMM)

型リグニン：8 倍) に影響するイネの遺伝子を特定し、この遺伝子情報を用いてバイオマスソルガムの選抜を行った。これらの選抜されたソルガム系統の種子は大量増殖されている。したがって、成果 3 の予定した成果は終了時評価時点で達成している。

(4) 成果 4：達成済み

成果 4 の活動を通じて、ソルガムバガスとソルガムの搾汁、アランアランを用いたバイオ材料とバイオ燃料（パーティクルボード、小型成型体、バイオペレット、バイオエタノール）の製造方法が開発された。また木材とソルガムバガスを原料とするパーティクルボードの物性が解明された。ソルガムペレットとソルガムパーティクルボードの技術経済分析を通じて、これらの製品の製造及び商業的なフィージビリティが検証された。さらにライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment：LCA）分析を通じて、成果 1～4 のすべての成果を通じて、バイオマスソルガムの活用により CO₂ の排出削減または固定に貢献し得ることを示した。したがって、低環境負荷型のバイオ材料・バイオ燃料の製造技術の確立を含め、成果 4 の予定した成果を達成した。

(5) プロジェクト目標達成見込み

プロジェクト目標の指標は四つあり、終了時評価時点ですべて達成されている。具体的には、①アランアラン荒廃草原における安定的なバイオマス作物生産がプロジェクトサイト及びモデルサイトで立証され、②バイオマスペレットとリグノセルロース材料（ソルガムパーティクルボード）を商業生産するための実施可能性が検証され、③アランアラン荒廃草原植生回復により生産されたバイオマスエネルギー及びバイオマス材料活用による CO₂ 排出削減が見積もられ、④持続的バイオマスエネルギー及びバイオマス材料の生産にかかわる総合的な技術ガイドラインが取りまとめられ、官民の関係者に共有された。指標の達成状況から、プロジェクト目標は達成されたと判断できる。

3-2 評価結果の要約

(1) 妥当性：高い

本プロジェクトはインドネシアの国家開発計画や、エネルギー関連政策やロードマップ、農業開発主要戦略等、関連セクターの政策・戦略と整合しており、その目標達成に貢献することができる。また、本プロジェクトはインドネシア社会のニーズ（生産不適地の生産地への転換や、持続可能なバイオ燃料の製造等）やターゲットグループのニーズ（持続可能な環境の創造が BRIN の使命の一つ）も満たしている。さらに、日本が比較優位性の高い分野での技術移転や国内トップレベルの研究機関であり京都大学と長年にわたる関係が構築されているターゲットグループの選定など、本プロジェクトの手段も適切と考えられる。

(2) 整合性：高い

わが国の「対インドネシア国別開発協力方針」（2020 年 8 月）では、優先プログラム「アジア地域及び国際社会の課題への対応能力向上に向けた支援」の戦略の一つとして、低炭素技術の開発が掲げられており、本プロジェクトは同方針と整合している。またソルガムペレットの利用促進によりインドネシアの電力供給における再生可能エネルギーの割合を向上させ、荒廃した土地

や土壌を再生することで、持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals : SDGs）の目標 7・15 の達成に貢献できる。さらに、バイオ燃料やバイオ材料の製造技術を含む CO₂ 排出量の削減及び CO₂ 固定量の増加のための技術開発を通じて、GHG 排出削減をめざすパリ協定の目標達成に貢献することができる。

(3) 有効性：高い

本プロジェクトはプロジェクト目標を達成しており、有効性は高い。一方で、社会実装を促進するためには長期間にわたってソルガムバイオマスの大規模で安定的な生産の確保が必要であり、異なる気象・土壌条件下での大規模なソルガム栽培技術を開発する必要がある。加えて、本プロジェクトの成果が公的にも民間セクターにも十分に活用されるためには、技術ガイドラインやその他の成果の共有とともに、これらの成果が国家の食糧安全保障を脅かすことなく、バイオ燃料の促進や CO₂ 排出量の削減に貢献し得ることが関係者によく理解される必要がある。

(4) 効率性：比較的高い

日本側の投入（専門家派遣、機材供与、本邦研修実施、現地活動費支出）やインドネシア側の投入（研究者の配置、研究施設改修、執務スペースの供与、事業運営費支出）はおおむね予定した成果を達成するために効率的に利用された一方で、コロナ禍や試薬の調達遅延は、関係者のさまざまな努力にもかかわらず、事業の進捗に負の影響を与えた。しかし、全体としてはプロジェクト期間内に各成果が達成されており、本プロジェクトの効率性は比較的高い。

(5) インパクト：上位目標の達成見込みは判断が困難。複数の正のインパクトが発現しており、長期的には他のインパクトの発現も期待される

上位目標は「アランアラン荒廃草原を活用してバイオマス生産を増加させるために本プロジェクトで開発された技術を政策や産業において適用すること」をめざしていると終了時評価団は理解しているが、終了時評価時点の指標はこの目標を十分に反映しておらず、終了時評価時点での指標で上位目標の達成見込みを判断することは困難である。また上位目標の達成には、①大規模なバイオマス生産を持続的に行うためのさらなる研究の実施、②政府による本プロジェクトの成果活用を促進するための政策提言の発出、そして③産官学連携の促進といった追加の活動が必要とされる。

本プロジェクトの正のインパクトとして、「日本・インドネシア両国の研究者の能力強化」「インドネシア側研究機関の能力強化」といった正のインパクトが発現しており、また中長期的には「地域経済への貢献」や「アランアラン荒廃草原を有する他国・他地域への波及効果」の発現が予想される。終了時評価時点で負のインパクトの発現は確認されていない。

(6) 持続性：比較的高い

バイオ燃料とバイオ製品の利用促進に関する一般的な政策はあるが、バイオマスのバリューチェーンを開発するための具体的なアクションプランや戦略は制定されておらず、政策・制度面での持続性は中程度～比較的高い。研究継続に係る最低限の予算は確保され、また今後日本の「ソルガム高度利用技術研究組合」の資金により一部の研究が継続されるものの、複数地点での栽培試験な

ど競争的研究資金の獲得が必要であることから、財務面での持続性は比較的高い。研究メンバーは BRIN の正規職員であり異動・離職率は非常に低く、研究活動へのオーナーシップは高く、BRIN の組織改編により農業省傘下の農業・食糧研究所が BRIN に統合されており、組織面での持続性は高い。現地の実情に合った適正技術が移転されたこと、移転技術は研究機関内で共有・活用されていること、開発技術や研究成果は技術ガイドラインや論文としてまとめられていること、供与機材はよく活用・維持管理がなされていることから、技術面での持続性も高いと判断した。

3-3 効果発現に貢献した要因

(1) 計画内容に関すること

- LIPI/BRIN と京都大学の 30 年以上にわたって構築された関係性（学術交流）は、本プロジェクトの効率的な実施に貢献した。インドネシア側研究メンバーの一部は過去に京都大学で研究しており、事業実施に積極的に貢献した。
- 業務調整員は活動の調整や研究メンバー間のコミュニケーション促進に多大な貢献を行った。事業実施における業務調整員の貢献は研究メンバーから非常に高く評価されている。
- 本プロジェクトはソルガムの搾汁からバイオエタノールを製造するためにインドネシア微生物資源センター（Indonesian Culture Collection, The Research Center for Biosystematics and Evolution : InaCC）の酵母を利用するとともに、同センターの機材も活用しており、過去の SATREPS 案件⁴によって構築された同センターの能力が本プロジェクトの研究活動によく活用された。

(2) 実施プロセスに関すること

- コロナ禍によるさまざまな困難にもかかわらず、プロジェクト・リーダーの強いリーダーシップが事業の効果的な実施につながった。プロジェクト・マネジャーも積極的にすべての成果リーダーや他の研究メンバーと連絡をとり、効果的な事業運営を行った。
- コロナ禍対応の一環としてオンライン会議用ツール（Zoom）を導入し、積極的に研究メンバー間のコミュニケーションを促進した。
- 本プロジェクトの学術領域において高いレベルの技術的専門性を備え、日本とインドネシア両国の文化と言語を理解する技術アドバイザーを配置したことは、事業を効率的に実施するうえで非常に効果的であった。

3-4 問題点及び問題を惹起した要因

(1) 計画内容に関すること

- 特になし

(2) 実施プロセスに関すること

- コロナ禍はさまざまな形で本プロジェクトの実施を遅延させ、また負の影響を与えた。
- 試薬の調達に時間がかかり（場合によっては 1 年以上）、研究活動の効率的な実施を阻害した。

⁴（科学技術）生物科学研究及びバイオテクノロジー促進のための国際標準の微生物資源センターの構築プロジェクト（2011-2016）

3-5 結論

終了時評価では、本プロジェクトがプロジェクト・デザイン・マトリックス (Project Design Matrix : PDM) に示されたプロジェクト目標を協力期間内に達成したことが確認された。本プロジェクトを通じて、アランアラン荒廃草原をバイオマス生産のポテンシャルが高いソルガムの生産地へ転換するための技術が確立された。これらの技術には、土壌微生物の多様性に負の影響を与えない施肥法、ソルガムとの間作に適した植物の特定、乾燥耐性がありリグニン含量やバイオマス生産性の高いソルガム系統の選抜・育種等が含まれる。特に本プロジェクトで選抜・育種されたソルガム系統は、終了時評価時点で農業省における品種登録に向けた準備が進んでおり、数年後には農家における栽培が可能となる見込みである。さらに、プロジェクトでは、ソルガムペレット、パーティクルボード、バイオエタノール等、ソルガムを活用したバイオ燃料及びバイオ製品の生産技術を開発しており、今後の実用化や商品化が期待されている。

本プロジェクトはインドネシア政府が掲げる低炭素社会の実現に向けた政策目標と合致するものであり、その妥当性は高いと評価された。インドネシア政府はパリ協定や SDGs をはじめとする国際的なコミットメントを達成するためにさまざまな政策を打ち出しており、特に低炭素社会の実現に向け 2060 年までに GHG のゼロエミッションを達成するという目標を掲げている。これらの目標達成に向け、今後特に火力発電所における石炭との混焼を目的としたバイオ燃料の需要が高まると考えられる。したがって、インドネシア政府にとってバイオマスを供給するための戦略を策定することは喫緊の課題であり、本プロジェクトで検証されたソルガムのバイオ燃料としての優位性を示すことで、インドネシア政府のバイオマス推進を後押しすることが期待される。

さらに、本プロジェクトは、インドネシアと日本両国の研究者の育成、とりわけ若手研究者の育成に大きく貢献したことが確認された。日本で実施された研修は非常に有益だったと高く評価されており、研修に参加したインドネシア側研究者からは、本邦研修により研究のみならず、管理能力も向上したとの意見が聞かれた。BRIN と京都大学の協力により、18 本の論文が発表されたほか、技術ガイドラインや政策提言 (ポリシーブリーフ)、技術経済分析報告書等が作成されており、今後これらの成果物が政府や民間企業に広く共有され、活用されることが期待される。プロジェクト期間中に 6 回開催された SATREPS カンファレンスは本プロジェクトの成果を広く研究者や政府関係者に共有するための有効なツールであった。プロジェクト終了後も、SATREPS カンファレンスで培われたネットワークを存分に活用しながら、プロジェクトの研究成果を共有・活用していくことが望ましい。

民間企業との連携も積極的に模索されてきた。プロジェクト期間中に協力関係にあった民間企業には、電力会社、家具会社、ペレット製造会社等が含まれており、プロジェクトで開発したバイオ製品生産技術の実用化に向けたさまざまな実証実験が共同で実施された。プロジェクト終了後においても、将来的な需要を満たすためには、民間企業との積極的な連携を継続することが期待される。

プロジェクト活動の一部は新型コロナウイルスの感染拡大に伴い遅延を余儀なくされ、プロジェクト目標の達成のために協力期間が 1 年延長された。未曾有のパンデミックという非常に困難な状況下に置かれたものの、インドネシアと日本の研究チームはオンラインコミュニケーションツールを活用しながら可能な限り研究活動を継続し、プロジェクト目標を達成した。インドネシア・日本両国の研究者チームのコミュニケーションは中間レビュー後にさらに緊密化し、中間レビューにおける提言が十分に考慮されたうえでプロジェクト後半の活動が行われた。

3-6 提言

提言 1 (対象：BRIN、京都大学)：リグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガム品種のバイオ燃料としての有効性をインドネシア政府に対して提言する。

インドネシア政府は、2060年までにGHGのゼロエミッションを達成するとの政策目標を掲げており、その戦略の一環として、バイオマスの活用を推進している。現在、エネルギー・鉱物資源省において策定が進められているバイオ燃料の混焼に向けたロードマップでは、2030年までに年間891万トンのバイオ燃料の混焼をめざしている一方で、現在のバイオ燃料の生産量は年間約2万トンにとどまっている。

インドネシア政府は、脱炭素、バイオマスの利用推進に係る政策を掲げる一方で、バイオマス燃料の確保に向けたバリューチェーンの構築に係る具体的な戦略は現時点では未策定であり、今後バイオ燃料の活用を拡大させるためには、ソルガムを含むバイオマス原料の生産促進に向けた政策や戦略の策定が喫緊の課題である。特に、広大なアランアラン荒廃草原を含む生産不適地をソルガムの生産地に転換するためには、土壌改良農業資材の投入（種子を含む）、生産から加工、輸送に至るまでのインフラ整備等、大規模な投資が必要となることから、政府の介入は不可欠となる。

本プロジェクトで選抜・育種されたリグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガムシステムの活用は、効率的なバイオマス生産のために有効であると考えられるが、終了時評価時点では、プロジェクトからインドネシア政府に対して、リグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガムのバイオ燃料としての有効性に係る提言は発出されていない。このことから、本プロジェクトを通じて得られた研究成果（LCAの結果を含む）を活用し、具体的根拠を示しながら、政府へ政策提言を発出することで、バイオマスの原料となるソルガムの栽培促進に向けた政策立案に貢献することを提言する。政策提言は、日本・インドネシア双方の研究チームが協力し、2022年末までに関係省庁（農業省、エネルギー・鉱物資源省、環境・森林省）に提出されることが望ましい。また、政策提言を行う際は以下の点に留意する。

- ▶ バイオ燃料及びバイオ製品用のソルガムは、現在農業活動が行われていないアランアラン荒廃草原を含む生産不適地に栽培予定であり、食料生産との競合はない。また、ソルガムと果樹等の農作物の間作を行うことで、生産不適地の農耕地への転用可能性が広がることを明示する。
- ▶ ソルガム栽培・利用により期待されるCO₂削減効果についても算出のうえ、低炭素社会への貢献についても、エビデンスを提示しつつ説明する。

本プロジェクトの上位目標は、「インドネシアにおいて、革新的バイオエネルギー及びバイオ材料技術によって持続可能な社会の構築モデルが開発される」であり、そのような「モデル」を開発するためには、インドネシア政府により、持続的な低炭素社会を構築するための戦略・行動計画が策定される必要がある。プロジェクトからの政策提言を通じて、それらの戦略・行動計画策定に貢献することが期待される。

提言 2 (対象：BRIN、京都大学)：共同研究を継続し、アランアラン荒廃草原において、リグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガムの生産規模拡大（スケールアップ）に向けた技術確立する。

本プロジェクトで実施した試験栽培は0.5～1ha程度であることに對し、LCAではソルガムを10

万 ha で栽培することを想定したモデルが活用されている。LCA で想定されたシナリオ（インドネシアにおける全 113 火力発電所で使用されている石炭の 5% を、バイオ燃料で代替する）を達成するためには、ソルガムの栽培面積を数万 ha 規模で拡大させる必要があり、そのためには、土壌環境や気象条件、地形が異なるさまざまな地域においてソルガムを栽培するための技術を確認する必要がある。プロジェクトで開発した技術は実験室レベル（温室等）では実証されている一方で、多様な土地への適用可能性の実証は今後の課題と位置づけられる。本プロジェクトで開発したリグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガムの栽培促進のために政府からの支援や企業の投資を呼び込むためには、大規模生産に向けた技術的フィージビリティや生産規模を拡大した際のコストを検証することが不可欠であり、より大規模な社会実証に向けた技術を確認する必要がある。

そのため、共同研究を継続し、本プロジェクトで得られた知見や供与機材等を活用しながら、ソルガムバイオマスの実用化に向けた生産規模の拡大（スケールアップ）と、持続的な生産体制構築（施肥量、連作障害対策等）に係る課題の特定と技術の確認に取り組むことを提言する。

提言 3（対象：BRIN、京都大学）：継続的な研究実施に向けた予算の確保

本プロジェクトでは、プロジェクト期間中からさまざまな資金ソースより研究資金を補強することが模索されてきた。プロジェクト終了後においても、ソルガム栽培のスケールアップに向けた技術の確認、農業省における品種登録のための実証実験等、継続的に研究活動を行うために予算を確保する必要がある、可能な限り継続的な研究実施に向けた予算を確保することを提言する。

BRIN 予算や日本の競争的研究資金のほかにも、日本で設立された「ソルガム高度利用技術研究組合」の枠組みを参考とし、ソルガムの商業利用に関心を有する民間企業から研究予算を確保する方法も積極的に検討すべきである。

提言 4（対象：インドネシア政府、BRIN、京都大学）：社会実装に向けた産官学連携のためのプラットフォームの構築

広大なアランアラン荒廃草原を含む生産不適地をバイオマス生産地として転換するためには、インドネシア政府の強い政治的意思（political will）と介入が必要となる。同時に、政府のみではアランアラン荒廃草原をバイオマス生産地へ転換することは困難であり、バイオマスのユーザーである民間企業からの投資や協力が不可欠である。

このことから、本プロジェクトで構築されたネットワークも有効活用しながら、ソルガム活用に向けた産官学プラットフォームを設置し、アランアラン荒廃草原の植生回復と、ソルガムの大規模生産に向けた協力体制を強化することを提言する。プラットフォームにおける産官学の役割としては以下が考えられる。

- 産：市場としての役割、技術普及、混焼試験
- 官：生産促進の政策立案、栽培技術の普及
- 学：技術開発と研究成果の共有

プラットフォームは 2023 年中に設置することを想定し、メンバーには農業省、エネルギー・鉱物資源省、環境・森林省、BRIN、京都大学、民間企業（日本・インドネシア企業両者を含むことが望ましい）を含めることを提案するが、これ以外の組織の参加についても積極的に検討すべきである。

また、プラットフォームの設置については、以下のマイルストーンを設定することを提案する。

- ▶ プロジェクト終了（2022年7月）まで：BRIN 及び京都大学が協議し、プラットフォームのメンバー案を作成する。
- ▶ 事後評価の実施時期（2025年を想定）まで：プラットフォームにおいて定期的に協議・活動が実施されており、本プロジェクトで開発したリグニン含量及びバイオマス生産性の高いソルガム品種の活用に向けたメンバー間の役割分担が明確になっている。

プラットフォーム設置の際は、本プロジェクトで6回にわたり実施されてきた SATREPS カンファレンスの枠組みやネットワークを有効活用する。また、日本においては、2022年3月に「ソルガム高度利用技術研究組合」が設立され、バイオマス燃料としてソルガムを活用するための研究と実用化の動きが活発化していることから、必要に応じて、日本のソルガム高度利用技術研究組合との連携・協力体制の構築も検討する。

提言5（対象：BRIN、京都大学）：上位目標の指標の変更

上位目標は、プロジェクト終了後約3年後を目途に、インドネシア側実施機関である BRIN により達成されるべき事項を想定して設定されるものである。本プロジェクトの上位目標は「インドネシアにおいて、革新的バイオエネルギー及びバイオ材料技術によって持続可能な社会の構築モデルが開発される」である。本「モデル」については明確に定義されていないが、終了時評価団は、本上位目標がプロジェクト終了後3年後を目途に設定されていることも踏まえ、「持続可能な社会の構築モデルが開発される」という点を、「プロジェクトで開発された技術が社会実装に向けて適用/活用されている状態」と理解する。

上記の視点で現状の上位目標の指標をみると、目標と指標が合致していない、または現実を反映していない点が見受けられることから、上位目標の指標を以下のとおり修正することを提言する。

上位目標の指標 (PDM ver. 2.1)	変更案
1. Strategy and action plan for establishing a sustainable low-carbon society referring to the technologies developed by the Project is compiled by Indonesian government and shared among stakeholders both in public and private sectors.	1. The policy recommendations/policy briefs are produced by BRIN, with close cooperation with Kyoto University, and reflected to government policies/action plans/strategies/projects concerning biomass production for energy and material as well as marginal land development.
2. The comprehensive technical guidelines are reflected on government policies concerning biomass production for energy and material as well as marginal land development.	
3. Business models/plans for manufacturing of biomass pellets and lignocellulose-based materials are prepared by LIPI and shared with private companies.	2. Business models/plans for manufacturing of biomass pellets and lignocellulose-based materials are prepared by private companies, taking into account the technologies and economic analysis produced by the Project.
None	(new) 3. Multi-stakeholder platform to promote production and usage of sorghum is established and functioning.
None	(new) 4. New varieties of sorghum with higher lignin and higher biomass content developed by the Project is registered by MOA and become available for the future production.

3-7 教訓

(1) PDM上の成果（アウトプット）間の連携を意識したプロジェクト運営

SATREPS プロジェクトでは、地球規模課題への対応に係る技術の研究・社会実装を行うという性格上、各成果（アウトプット）ごとに研究チームが配置されることが一般的である。本プロジェクトにおいても PDM が示す四つの成果ごとに、インドネシア・日本側研究者から成る共同研究チームが配置された。一方で、2019 年に実施された中間レビューでは、「各研究チームはそれぞれの研究目標をよく理解し、日本・インドネシア双方の研究者が協力して研究は実施されているが、成果（研究チーム）間の協力関係は必ずしも緊密ではなく、これがプロジェクト全体で何を目標としているかについての共通理解を妨げる原因になっている」⁵との指摘がなされている。

中間レビュー時の指摘と提言を受け、中間レビュー以降プロジェクト・チームは毎月の定例会やオンラインミーティングを頻繁に取り入れ、各成果の連携や情報共有を密に進めてきた。その結果、四つの成果間の連携が改善しプロジェクト目標の達成に大きく貢献した。SATREPS プロジェクトではプロジェクトの前半は成果ごとの研究を集中して行い、プロジェクト後半で社会実装やプロジェクト目標に向けて成果間の活動を集約させていくケースが多い一方で、プロジェクト目標の確実な達成に向けては、プロジェクト初期の段階から成果間の連携・協業を想定した活動を含めることが重要となる。これらの視点を当初から PDM に反映するため、プロジェクトの詳細を検討する段階、例えば詳細計画策定調査時において、JICA より成果間の連携や関係性の強化について積極的に助言することが望ましい。

(2) プロジェクト当初から社会実装の具体的な想定を協議する

SATREPS プロジェクトは発展途上国が直面するさまざまな課題に対応するものであることから、社会実装は SATREPS プロジェクトにおける最も重要な要素の一つである。このことから、研究を通じた新しい技術開発のみならず、プロジェクト当初より社会実装の具体的なイメージを関係者間で協議・共有することは極めて重要となる。

本プロジェクトでは、アランアラン荒廃草原をバイオマス生産地に転換するためにさまざまな研究が行われてきたが、社会実装に向けては、特に中間レビュー以降 LCA や技術経済分析を含むさまざまな分析が行われてきた。これらの分析は、社会実装の実現可能性を検証するための重要な情報となり、その結果が政策提言（ポリシーブリーフ）や技術経済分析報告書として取りまとめられ、政策立案者に共有されている。社会実装の具体的な内容を検証するためには、十分な時間と投入が必要であり、それらの投入を確保するためにも、プロジェクト当初から具体的な社会実装の姿を想定しておくことが重要である。このことから、JICA は、詳細計画策定調査等プロジェクト活動の形成の際に、研究代表機関と密に協議しながら、相手国・日本双方の関係者が、社会実装に関する具体的なイメージを固められるよう支援する必要がある。

(3) 技術的知見を有する技術アドバイザー/コーディネーターの配置

本プロジェクトは、日本人の業務調整員（プロジェクト・コーディネーター）と、インドネシア人の技術アドバイザーが密に連携してプロジェクト実施を支援した好事例である。インドネシア人の技術アドバイザーは京都大学で博士学位を取得し、本プロジェクトの研究分野について豊

⁵ 中間レビュー報告書、p.26 (<https://libopac.jica.go.jp/images/report/12343901.pdf>)

富な知見を有しており、日本人業務調整員と連携しながら、インドネシア・日本両国の研究チームのコミュニケーション円滑化に大きく貢献した。

SATREPS プロジェクトでは、相手国機関のカウンターパート (Counterpart : C/P) との協業のために、日本人の業務調整員が配置されることが一般的であるが、相手国より当該分野の技術的知見を有する技術アドバイザーやコーディネーターを配置することは、両国研究者のコミュニケーションの円滑化や、相手国における試薬や機材の調達において非常に有益であると考えられる。

(4) 機材調達と試薬の効率的な調達に向けた計画管理の重要性

インドネシアを含む相手国における効率的な機材調達は SATREPS プロジェクトの大きな課題の一つである。機材調達の遅延には煩雑な通関手続きや輸送の手配等、さまざまな理由が絡み合っている。本プロジェクトにおいても、特にプロジェクトの前半において機材調達に遅れがみられたが、プロジェクト後半においては、業務調整員と技術アドバイザーによる綿密な調達計画が功を奏し、大きな遅延はみられなかった。

SATREPS プロジェクトでは機材調達や試薬の購入は活動の土台を支える重要なプロセスとなる。インドネシアにおいては、機材調達に係る政府からの要請書 (通称 A4 フォーム) が日本政府側に提出されたのち、機材調達を開始することができる。他方で、相手国研究機関は同プロセスを承知していないケースが多く、プロジェクト開始から数カ月経ったあとによりやく要請書が提出されるケースも少なくない。したがって、JICA は R/D 署名後速やかに A4 フォームを提出してもらうよう、相手国 C/P や関連機関に積極的に働きかける必要がある。さらに、日本と相手国研究機関があらかじめ調達予定の機材リストを精査しておくことが、プロジェクト開始後速やかに機材調達に着手するために不可欠となる。

(5) 中間レビューの重要性

本プロジェクトは 2019 年に中間レビューを実施しており、本レビューにおいてプロジェクトの上位目標及びプロジェクト目標を達成するために、各成果がどのような役割を果たすべきかが整理された。この結果、PDM が改訂され、成果間で重複していた活動が削除され、効率的にプロジェクト活動が推進された。現状の JICA のプロジェクトモニタリング制度においては中間レビューの実施は任意であるものの、特に SATREPS プロジェクトにおいては、研究という性質上、各成果の研究活動が独立的に進んでしまう可能性が高いことから、中間レビューを行い、成果ごとの進捗を確認したうえで、プロジェクト目標達成に向けた道筋を整理することは極めて重要と考えられる。中間レビューはプロジェクトの中間地点における課題を整理し、プロジェクト終了までにプロジェクト目標を達成するための活動を見直す好機となることから、特に SATREPS プロジェクトにおいては、積極的に実施することを推奨する。