

国名	天然ゴムを用いる炭素循環システムの構築プロジェクト
ベトナム	

I 案件概要

事業の背景	<p>パラゴム樹（<i>Hevea brasiliensis</i>）から産出される天然ゴムは、アジア地域の有望な植物資源である。合成ゴムにはない特異な物性を持つため、その需要は高い。化石燃料を原料とする合成ゴムの生産は膨大な二酸化炭素を排出するため、合成ゴムを天然ゴムに置き換えることで二酸化炭素排出量の削減が期待されている。一方、天然ゴムにはラテックスアレルギーの原因となる、また化学修飾を阻害するタンパク質物質が含まれていることから、天然ゴムのタンパク質除去は、天然ゴムの利用拡大とタンパク質由来のアレルギーのリスク低減のために不可欠である。このような背景から、ベトナム政府は日本政府に対し、SATREPSの枠組みの下で、高性能天然ゴムと高機能ポリマーを製造するナノテクノロジーを開発して天然ゴムの利用を拡大し、また生産廃水・廃木の効率的処理と利用を行うことで、炭素循環システムを確立するための、技術協力の実施を要請した。</p>										
事業の目的	<p>本事業は、①天然ゴムの新たな評価法、②高性能ゴム、③天然ゴム由来高機能ポリマー、④ゴム廃木からのバイオ燃料製造技術、⑤高度ゴム生産廃水処理システム、の開発を通じて、天然ゴムの環境にやさしい生産、利用の高度化と用途拡大を実現する技術に関するハノイ工科大学（HUST）とベトナム・ゴム研究所（RRIV）の能力向上を図り、もってベトナムにおける低タンパク質天然ゴム関連技術に係る研究・開発の推進及び化石燃料由来の合成ゴムに代わる天然ゴム利用の増大に寄与することを目指す。</p> <p>1. 想定された上位目標：なし 2. プロジェクト目標：天然ゴムの環境にやさしい生産、利用の高度化及び用途の拡大を実現する技術に関するHUSTとRRIVの能力が向上する。</p>										
実施内容	<p>1. 事業サイト：ハノイ及びビンズオン省 2. 主な活動：①天然ゴム末端構造解析技術の確立、低タンパク質天然ゴム評価の新標準の作成、②脱タンパク質天然ゴムプロトタイプ準備、③ゴムナノテクノロジーの確立、④廃木材に適した破碎方法の開発、分解微生物・酵素の選定、分解微生物の改良、⑤製造・加工廃水処理技術の開発、ゴム廃水の温室効果ガス排出能力と分解機構の評価。 3. 投入実績</p> <table border="0"> <tr> <td>日本側</td> <td>相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣 18人（長期3人、短期15人）</td> <td>(1) カウンターパート配置 43人</td> </tr> <tr> <td>(2) 機材供与 核磁気共鳴装置(NMR)、天然ゴム脱タンパク化試験プラント用遠心機、廃水処理システム用パイロットリアクター等</td> <td>(2) 施設：[HUST] 事業調整事務所及び研究施設（実験室の改修、HUSTの研究施設、ゴム科学技術センター(CEBER)のための新棟建設を含む）。[RRIV] ビンズオン省における、廃水処理システム用パイロットリアクターの実験室・敷地、日本人短期専門家の執務スペース</td> </tr> <tr> <td>(3) ローカルコスト</td> <td>(3) ローカルコスト</td> </tr> </table>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣 18人（長期3人、短期15人）	(1) カウンターパート配置 43人	(2) 機材供与 核磁気共鳴装置(NMR)、天然ゴム脱タンパク化試験プラント用遠心機、廃水処理システム用パイロットリアクター等	(2) 施設：[HUST] 事業調整事務所及び研究施設（実験室の改修、HUSTの研究施設、ゴム科学技術センター(CEBER)のための新棟建設を含む）。[RRIV] ビンズオン省における、廃水処理システム用パイロットリアクターの実験室・敷地、日本人短期専門家の執務スペース	(3) ローカルコスト	(3) ローカルコスト
日本側	相手国側										
(1) 専門家派遣 18人（長期3人、短期15人）	(1) カウンターパート配置 43人										
(2) 機材供与 核磁気共鳴装置(NMR)、天然ゴム脱タンパク化試験プラント用遠心機、廃水処理システム用パイロットリアクター等	(2) 施設：[HUST] 事業調整事務所及び研究施設（実験室の改修、HUSTの研究施設、ゴム科学技術センター(CEBER)のための新棟建設を含む）。[RRIV] ビンズオン省における、廃水処理システム用パイロットリアクターの実験室・敷地、日本人短期専門家の執務スペース										
(3) ローカルコスト	(3) ローカルコスト										
事業期間	2011年4月～2016年3月	事業費	（事前評価時）394百万円、（実績）398百万円								
相手国実施機関	教育訓練省（MOET）、ハノイ工科大学（HUST）、ベトナム・ゴム研究所（RRIV）										
日本側協力機関	長岡技術科学大学、独立行政法人国立環境研究所、東京工業高等専門学校、呉工業高等専門学校										

II 評価結果

【留意点】

本 SATREPS ではプロジェクト・デザイン・マトリックス（ロジカルフレームワーク）は作成されず、上位目標も設定されなかった²。終了時評価調査結果要約表によれば、化石燃料由来の合成ゴムを天然ゴムに置き換えるという最終目標のため、本事業で開発された技術がベトナムのゴム産業に採用されることが期待されていた。このことと SATREPS 事業の事後評価の枠組みに基づき、本事業で想定された上位目標を「化石燃料由来の合成ゴムを天然ゴムに置き換えるため、ベトナムにおいて、低タンパク質天然ゴム関連技術に係る研究・開発が推進される。」とみなす。

1 妥当性

【事前評価時のベトナム政府の開発政策との整合性】

本事業は、2020年に再生可能エネルギー発電量を全体の5%とすることを目標とした「国家エネルギー戦略」（2007年）、気候変動対策の総合政策である「気候変動対策に係る国家目標プログラム（NTP-RCC）」（2008年～2020年）等の、ベトナムの開発政策と合致したものであった。ベトナム政府は、天然ゴム産業を輸出用の重要な農産物として推進することとしていた。

【事前評価時のベトナムにおける開発ニーズとの整合性】

前述の「背景」で述べたように、本事業は、炭素循環システムを確立するための天然ゴムの生産・利用技術開発の必要性と一致していた。事業実施期間中、ベトナムでは天然ゴムの生産が急速に増加しており、天然ゴムの付加価値加工や廃木・廃水処理が重要となっていた。

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、「対ベトナム国別援助計画」（2009年）に掲げる「資源・エネルギー安定供給」（「経済成長促進・国際競争

¹ SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

² 終了時評価報告書には「overall objective」の言及があったが、事業完了後3年後の目標ではなく最終目標として記載されていた。

力強化」のサブ項目)、「自然環境保全」(「環境保全」のサブ項目)、「地方開発・生計向上」(「社会・生活面の向上と格差是正」のサブ項目)と整合していた。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は高い。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

本事業は、事業完了時にプロジェクト目標を達成した。事業の成果として、①低タンパク質天然ゴムの新たな評価法、②脱タンパク質天然ゴム製造技術、③天然ゴムからの高機能ポリマー製造技術、④ゴム廃木からのバイオ燃料製造技術、⑤ゴム生産廃水の高度処理技術が開発された。また、HUST内に設置されたゴム科学技術センター(CEBER)も、本事業の重要な成果の一つと考えられる。HUSTはCEBERの運営に予算と人員を投入した。CEBERに配属された2名の主要研究者は、本SATREPS事業のメンバーであり、本事業の奨学金を受け、長岡技術科学大学より修士号と博士号を取得した。

RRIVについては、ゴム生産廃水の処理技術に関する研究能力が向上した。RRIVは、ゴム生産工場からの廃水処理技術に関するさらなる研究を行うために、ベトナムゴムグループ(VRG)に資金を申請することを計画していた。

その結果、プロジェクト目標の指標はいずれも達成された。指標1としては、本SATREPS事業に参加したことにより、HUSTの研究者が日本の研究者と共同研究を行い、天然ゴムに関する国際的な論文を多数発表した。指標2としては、ベトナム化学学会の下に天然ゴム分科会が設立され、HUSTが主導メンバーとなった。

【事業効果の事後評価時における継続状況】

本事業の効果は、事後評価時まで継続している。低タンパク質天然ゴムの研究拠点となったCEBERをはじめ、HUSTの生物学部や環境技術学部といった関係学部は、本事業の成果に基づいて研究を継続するとともに新たな研究を開始し、事業完了後もさらに多くの研究論文を発表している。研究資金は、科学技術省、教育訓練省、科学技術振興財団(NAFOSTED)(科学技術省傘下)から受けている。また、HUSTは引き続きベトナム化学学会の天然ゴム分科会の主要メンバーである。

加えて、HUSTは本事業で供与されたNMR、天然ゴム脱タンパク化試験プラント、ラボスケール廃水処理システム用パイロットリアクター等の設備の運転・維持管理のための予算を確保している。これらの機器はすべて良好な状態であり、上記の研究に使用されている。

RRIVでは、上位組織であるVRGが民営化されたことや世界的なゴム価格の下落の影響を受けたことから、ゴム生産廃水の高度処理技術の研究は継続されていない。しかし、HUST環境技術学部が同処理技術のフォローアップ研究を行っているため、本事業の有効性・インパクトに大きく影響するものではない。本事業でRRIVに供与された機材については、廃水処理システム用パイロットリアクターは、上述のようにこれを必要とする研究が行われていないため使用されていない。しかし分析機器については、ゴム会社向けサービスの一つとして、ガスクロマトグラフ分析装置等分析機器を使って工場廃水の品質を確認するなど、使用されているものもある。

【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】

想定された上位目標は、事後評価時まで達成された。本事業にて作成された低タンパク質天然ゴム評価の新国家標準案は、2016年にベトナム標準・計量・品質総局標準・品質部門(TCVN)によりTCVN11527:2016として採択された。さらに、CEBERは、同TCVN規格の、低タンパク質天然ゴム評価のための新ISO標準への格上げプロセスを大きく前に進めた。CEBERは同標準のISOへの登録プロセス中であり、新しいISO標準が2021年に発行されると見込んでいる。CEBERはまた、2018年2月に脱タンパク化天然ゴム製造に係る革新的技術を科学技術省に登録し、事後評価時点で審査中である。

低タンパク質天然ゴム利用促進のための事業化(商業化)については、CEBERは一部のゴム会社と協力して、低タンパク質天然ゴム製の高品質医療用手袋を生産し、これを使用した一部の病院より高い評価を得た。Phan Trung Nghia博士(元プロジェクトマネージャー、CEBER所長)は事後評価時、この天然ゴム脱タンパク化技術をコア技術とし、脱タンパク化プロセスのスケールアップ及びタンパク質除去ラテックスを用いた医療用品(医療用手袋や避妊薬等)の商品化を民間企業と共同で開始するための会社設立を計画している。CEBERはまた、日本企業と共同での、天然ゴム由来の高機能ポリマーを自動車部品等に应用した製品開発や、ベトナム企業と共同での、タンパク質除去天然ゴムの製造技術を用いた自動車部品向け複合材料の開発に向けた研究を進めている。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

自然環境への負の影響はみられなかった。パイロットプラントの廃水処理は定期的にモニタリングされ、水質が国の基準を満たしていることを確認している。モニタリング結果は、進行中の研究の入力データとしても利用されている。

HUSTが挙げた、その他の正のインパクトは次のとおり。①本事業に関わった研究者やこれらの研究者から天然ゴムの新人研究者として指導を受けた学生の能力が向上した。②政府側の関係機関の科学リテラシーも向上した。③低タンパク質天然ゴム評価に関する国家標準(TCVN11527:2016)の公表後、科学技術省規格・計量・品質総局はゴムとゴム製品に関する国家技術標準委員会を設置し、その委員としてPhan Trung Nghia博士を配置した。④Nghia博士は、科学技術省傘下の避妊具評価技術委員会の委員長にも任命された。

【評価判断】

よって、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績
プロジェクト目標 天然ゴムの環境にやさしい生産、利用の高度化及び用途の拡大を実現する技術に関するHUSTとRRIVの能力が向上する。	指標1 学術誌に論文が掲載される。	達成状況：達成(継続) (事業完了時) 2015年8月末までに84編の論文が科学雑誌に掲載された(国際誌73編、日本の国内誌11編)。このうち、16編がベトナムと日本の共著論文として発表された。この論文数は、JSTによって「多数の論文」と評価された。 (事後評価時) 事業完了後に発表された論文は次のものを含む。 本事業で行われた研究の継続 - 天然ゴムの新規評価法に関する22編の論文(International Scientific Index 統計データベース収録論文4編を含む)(CEBER)

		<ul style="list-style-type: none"> - 伝電ゴム、配合ゴム、ゴムのバイオマス、ゴム生産廃水の生物分解に関するベトナム国内論文 10 編 (CEBER) - 天然ゴムを原料とした電磁波廃棄物吸収材に関する国内外の論文 (論文数不明) (CEBER) <p>本事業の研究成果に基づいた新たな研究</p> <ul style="list-style-type: none"> - 有機シランモノマーを用いたグラフト共重合法により調製したフィラーナノマトリックス構造を有する改質天然ゴムの特性と形態に関する国際論文 2 編、ベトナム国内論文 1 編 (CEBER)。 - 天然ゴムの微生物集合体の特徴に関する国際論文 2 編 (HUST 生物・食品技術学部)
	指標2 天然ゴム分科会が既存の学会内に設立される。	<p>達成状況：達成 (継続) (事業完了時)</p> <p>2015 年 11 月 18 日、ベトナム化学学会の下に天然ゴム分科会が設立された。同日、HUST の化学工学研究科がベトナムゴム学会の会員となった。</p> <p>(事後評価時)</p> <p>天然ゴム分科会はベトナム化学学会の下で継続している。現在も HUST は主要メンバーとして活動している。</p>
想定された上位目標 化石燃料由来の合成ゴムを天然ゴムに置き換えるため、ベトナムにおいて、低タンパク質天然ゴム関連技術に係る研究・開発が推進される。	ベトナムにおける、低タンパク質天然ゴム関連技術の研究・開発の拡充	<p>達成状況：達成 (事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 低タンパク質天然ゴム評価の新国家標準案が TCVN 11527:2016 として採用された。 - CEBER はゴム会社と協力して低タンパク質天然ゴム製医療用手袋を製造しており、使用している病院から高い評価を得ている。 - CEBER は日本やベトナムの企業と協力して、自動車部品等の製品に天然ゴム由来の高機能ポリマーを使用した製品の開発を進めている。

(出所) 終了時評価報告書、JST 終了報告書、HUST 質問票回答・聞き取り、RRIV への電話での聞き取り

3 効率性

本事業の事業期間は計画どおりであったが、事業費はわずかに計画を超過した (計画比: 100%、101%)。アウトプットは計画どおり産出された。よって、効率性は中程度である。

4 持続性

【政策面】

ベトナム政府は、温室効果ガス排出量を 2030 年までに 8%削減するという世界的な取り組みへの貢献にコミットしている。首相は、気候変動に関するパリ協定の実施に向けた国家行動計画」を承認した。2016 年に首相が承認した「2016 年から 2020 年の気候変動とグリーン成長のための目標プログラム」は、天然資源・環境省が 2021 年から 2025 年の期間に向けて更新する予定である。また、党中央経済委員会と農業・農村開発省が共催した「ゴム産業の持続的発展を促進するための会議」では、農業・農村開発省がゴム加工技術を支援し、原料よりもゴム製品の輸出に力を入れることを発表した。

【制度・体制面】

研究活動や研究成果の社会実装のための組織体制は、前述のとおり、ベトナム北部における天然ゴムの研究拠点である CEBER との間で確保されている。CEBER は三つの研究部門を擁し、タンパク質除去天然ゴムからの新素材の開発、ゴム生産廃水の処理技術の向上等、本事業の成果を継続的に研究している。

RRIV については、最近、CEBER は VRG の副所長とのやり取りを再開し、CEBER のゴム生産廃水処理技術に関する新規プロジェクトへの RRIV の参加等を検討している。

【技術面】

CEBER は重要な国家研究所の一つとして評価されており、標準研究所として ISO 認証を取得済みである。CEBER の研究者は、本 SATREPS 事業の成果を活用して新規プロジェクト (シリカ粒子入りゴム材料、液状ゴム、液化エポキシゴム、触媒ゴム材料、燃料電池用透過膜等の研究) を開始した。これらの新規プロジェクトや国際会議に参加することで、研究者は研究能力の向上と天然ゴムに関する知識の向上を果たしている。

ゴム生産廃水の処理技術については、世界的なゴム価格の下落に伴う研究費の不足により、RRIV の研究能力の向上は限られている。しかし、HUST 環境技術学部の研究者は、研究プロジェクトの実施、会議やセミナーへの参加、海外の大学との交流等により、知見を維持・向上させてきた。

【財務面】

既述のように、HUST は本 SATREPS 事業で供与された機器の運用に予算を計上している (例: NMR に毎年 3~4 億 VND) とともに、政府から多くの財源を研究資金として動員し、天然ゴム研究に十分な予算を確保している (例: NAFOSTED から 4 件の研究助成金 (3 年間のプロジェクト 1 件あたり 8 億 1,500 万 VND~8 億 3,500 万 VND)、教育科学省から 3 件の研究助成金 (2 年間のプロジェクト 1 件あたり 5 億 6,000 万 VND~35 億 VND))。CEBER は今後も、HUST による年間予算配分、教育科学省や科学技術省から独自に得ている研究資金、上記の日本企業を含む民間企業との共同研究開発等から、NMR を含む本事業機器の運用・維持管理のための十分な予算を確保できるものと思われる。

RRIV は研究資金の不足に直面している。しかし、ゴム生産廃水処理の先端技術に関する研究を引き継いだ HUST 環境技術学部では、本 SATREPS 事業の研究成果や、本事業で供与されたラボスケール廃水処理システム用パイロットリアクターを活用した新規プロジェクトを実施するための、十分な予算を確保することができた。

【評価判断】

以上より、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

5 総合評価

本事業は、低タンパク質天然ゴムの利用の高度化と用途拡大を実現するというプロジェクト目的を達成した。事業の効果は継続している。すなわち、本事業にて設立された CEBER は低タンパク質天然ゴムの研究拠点としての役割を果たし、CEBER をはじめとする HUST の関係部門は、本事業の成果に基づいた研究を継続している。これらの研究機関と民間企業との間では、研究成果の社会実装に向けた連携が進んでいる。医療用手袋などの低タンパク質天然ゴムの実用化も始まっている。

る。持続性については、政策面、制度・体制面、技術面、財務面のいずれにおいても大きな問題は見つかっていない。効率性については、事業が計画をわずかに上回った。以上の点を考慮すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

III 提言・教訓

実施機関への提言：

(1) 世界的なゴム価格の下落による財政難もあり、VGR は廃水処理技術の研究を継続するための予算を RRIV に配分していない。しかし、ベトナムのゴム産業には、他にも取り組むべき技術ニーズがある。例えば、本事業で開発された先進技術はゴムラテックス製造の廃水処理に利用されているが、ベトナムで加工されるゴムのうち、ラテックス濃縮物(液体)は20%に過ぎず、残りの80%はゴムラテックスから製造された固形ゴムである。そのため、固形ゴム加工工場からの廃水を処理する技術については、さらなる検討が必要である。ベトナム政府、VRG、HUST は、このようなニーズに対応するための研究プログラムを開始することを検討することが提言される。また、日本の大学がベトナムの研究者と協力して、現地のニーズに合わせて関連技術を現地化することも検討が望まれる。

(2) 事後評価時、CEBER の Nghia 博士は、脱タンパク化技術を活用して、タンパク質除去天然ゴムから医療用手袋等の製品を製造するための会社を設立する準備を行っていた。CEBER は国立大学である HUST の管理下にあり、民間企業と商業契約を結ぶことができないため、会社設立が必要となる。ベトナムでは、研究機関や大学は学術研究を中心に行っており、研究成果を商業化し、新たに開発した技術を実生活に応用するための民間企業との連携はまだまだ不足している。したがって、ベトナム政府は、ベトナムにおける産学官連携のモデルを導入することを提言する。また、国立大学やその他の研究機関の学術研究から得られた技術を活用するために、大学系ベンチャー企業に対する政府の支援を検討すべきである。

JICA への教訓：

本事業は、主に研究・技術開発に重点を置いて設計されていた。事業完了後に研究成果を社会実装したり普及促進したりすることは、計画はされたものの、高性能な製品技術であるため実現性が十分ではなかった。特に、民間セクターの関与や政府からの事業成果への支援の確保は考慮されていなかった。その結果、RRIV/VRG は本事業実施中に農業・農村開発省の管理下にあったが、同省との情報共有や、ゴム産業発展のための政府のプログラムとの連携には至らなかった。

事後評価時、HUST には科学技術省と教育訓練省が資金提供している天然ゴム関連プロジェクトが多数存在する。しかし、普及・社会実装という点では、HUST はゴム産業発展のための政府のプログラムと連携できていない(代わりに、HUST は一部の民間企業と協力して普及・社会的応用を実施している)。今後、新たに開発した技術の商業化に向けて、事業成果の活用と普及を促進するためには、事業開始時の民間セクターの関与と、事業の重要性に対するベトナム政府の理解が必要である。民間企業や政府機関を対象としたアウトリーチ活動をより盛り込むべきであった。なお2020年末、VRG は HUST にタンパク質に関連したゴム技術の支援を依頼した。

また、本事業で開発された技術の応用・商業化の可能性を考慮した経済分析または初期の市場調査並びに所有権に係る議論を、事業設計の際に早急に検討するべきであった。

また、事業完了までに JICA はベトナム側に対し、事業成果を維持し、開発した技術の将来的な応用に備えるための5~10年の計画・ロードマップを策定し、関係省庁、関係研究機関、民間企業の潜在的なパートナーを含むすべての関係者の間で合意・承認するよう働きかけることも可能であったと思われる。



写真1 タンパク質除去天然ゴムから作られた医療用手袋と従来製品



写真2 HUST キャンパス内のゴム科学技術センター (CEBER)