

持続可能開発目標達成支援事業（aXis）

Aタイプ研究分野「環境・エネルギー」

研究課題名「持続可能な天然ゴムエコシステムの社会実装拡大に向けた

技術開発と新産業の創出」

相手国名：ベトナム

令和2（2020）年度実施報告書

研究期間

2020年4月1日から2022年3月31日まで

研究代表者：河原成元

長岡技術科学大学・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1)研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2020年度				2021年度			
	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月
(当初案) 1. タンパク質フリー天然ゴム大量生産に向けたゴム固化技術の確立 1-1 SDD装置の作製 1-2 SDD法による固形ゴムの調製	加熱方法の決定 ↔	最適乾燥条件の決定(既存装置を駆使) ↔	固形ゴム評価検証(日本) ↔	固形ゴム評価 ↔				
(修正案) 1. タンパク質フリー天然ゴム大量生産に向けたゴム固化技術の確立 1-1 SDD装置の作製 1-2 SDD法による固形ゴムの調製	加熱方法の決定 ↔	最適乾燥条件の決定(既存装置を駆使) ↔	固形ゴム評価検証(日本) ↔	固形ゴム評価検証 ↔	最適乾燥条件の決定(SDD装置をHUSTに設置し、現地で稼働) ↔			データ解析 ↔
(当初案) 2. タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立 2-1 ラボスケールでのラテックス加硫配合最適化 2-2 SDD法による加硫配合最適化	タンパク質フリー天然ゴムラテックスの調製 ↔	加硫配合の最適化 ↔		加硫配合の最適化 ↔				
(修正案) 2. タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立 2-1 ラボスケールでのラテックス加硫配合最適化 2-2 SDD法による加硫配合最適化	タンパク質フリー天然ゴムラテックスの調製 ↔	加硫配合の最適化 ↔	加硫配合の最適化 ↔		加硫配合の最適化 ↔			データ解析 ↔
(当初案) 3. 天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化 3-1 天然ゴム分解菌と脱硫酵素による天然ゴム製品分解系の拡大 3-2 天然ゴム分解能評価系の確立 3-3 天然ゴム分解反応条件の最適化	脱硫と低分子化反応の融合 ↔	分解能評価系の確立と産物の同定 ↔	脱硫と低分子化反応の融合効果の検証 ↔					
(修正案) 3. 天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化 3-1 天然ゴム分解菌と脱硫酵素による天然ゴム製品分解系の拡大 3-2 天然ゴム分解能評価系の確立 3-3 天然ゴム分解反応条件の最適化	脱硫と低分子化反応の融合 ↔	分解能評価系の確立と産物の同定 ↔	脱硫と低分子化反応の融合効果の検証 ↔					
(当初案) 4. 資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発 4-1 天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発 4-2 密閉型DHSによるアンモニア及び揮発性有機化合物除去技術の開発 4-3 現行処理システムの水質調査と温室効果ガス排出削減の評価	ラボスケール処理システムによる連続廃水処理実験 ↔	密閉型DHSリアクターによるアンモニア処理実験 ↔	現行処理プロセスの現地調査 ↔					

(修正案) 4. 資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発 4-1 天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発 4-2 密閉型DHSによるアンモニア及び揮発性有機化合物除去技術の開発 4-3 現行処理システムの水質調査と温室効果ガス排出削減の評価								実規模リアクターの設計	
	ラボスケール処理システムによる連続廃水処理実験								
	密閉型DHSリアクターによるアンモニア処理実験								
								現行処理プロセスの現地調査	データ解析
(当初案) 機材導入 SDD装置	装置仕様の決定	本邦調達	ベトナム税関通過	相手国設置工事					
(修正案) 機材導入 SDD装置	装置仕様の決定		本邦調達			ベトナム税関通過	相手国設置工事		
(当初案) 機材導入 ガスクロマトグラフ装置	本邦調達								
(当初案) 機材導入 ガスクロマトグラフ装置	本邦調達								
(当初案) 渡航活動	SDD 設置場所、脱タンパク装置稼働の調査 (2人・3日)	SDD の調査 (3人・5日)	天然ゴムの実施と検証 (3人・4日)	SDD 装置立ち上げ (2人・5日)	SDD 装置立ち上げ (3人・5日)	公開ワークショップ (3人・4日)	公開ワークショップ (3人・4日)		
	廃水処理システムの立ち上げ (2人・5日)	廃水処理システムのサンプリング (2人・5日)	廃水処理プロセスの現地調査 (2人・5日)						
(修正案) 渡航活動				SDD 装置立ち上げ (2人・5日)	SDD 装置立ち上げ (3人・5日)	天然ゴム分解試験の実施と検証 (3人・4日)	廃水処理プロセスの現地調査 (2人・7-10日)	SDD 装置定常稼働 (2人・5日)	公開ワークショップ (3人・4日)

(2)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

新型コロナウイルスの影響により、当初1年間の予定であった研究期間が2年間に変更された。変更後のスケジュールは上記の通りである。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1)プロジェクト全体

人類未踏の挑戦的研究課題である「タンパク質フリー天然ゴム（窒素含有率 0.00 w/w%）の大量生産」は、年間約 5 千万トンの CO₂ 排出を食い止める技術として注目を集めている。これは、タンパク質フリー天然ゴムが、新しい精製技術の産物であり、化石資源由来の合成ゴムに奪われた天然ゴムの市場を取り戻す炭素資源として無限の可能性を秘めていることによる。本研究では、タンパク質フリー天然ゴムの大量生産を将来目標として掲げ、そのゴム固形化技術を含む周辺技術を確立することを目指す。

天然ゴムは、パラゴムノキ (*Hevea brasiliensis*) から得られる植物資源由来の二次代謝産物である。その消費量は年間約 1,300 万トン（全ゴム消費量の約 46 %）と膨大であり、パラゴムノキのプランテーション（約 1,000 万 ha）は年間約 3.3 億トンの CO₂ を固定している。しかしながら、天然ゴムの約 10 %（自動車以外の手袋、医療衛生用品等）が合成ゴムに置き換えられ、パラゴムノキのプランテーションの約 10 %が未利用地になる可能性が出てきた。これに加えて、天然ゴムはタンパク質や脂質等の非ゴム成分を取り除くことによりタイヤとして自動車の低燃費化を図ることが求められているが、現行の精製技術では非ゴム成分の除去が不十分であるため目的物を得られないことが問題となっている。それ故、天然ゴムは、脱化石資源化、CO₂ 排出削減及び持続可能開発ゴール (SDGs) の 13（気候変動）への貢献が大きいと期待されているにもかかわらず、合成ゴムに市場を奪われている。この状況を打開するためには、ラテックスアレルギーの問題解決に焦点を当てた JST-JICA SATREPS（2010 年）「天然ゴムを用いる炭素循環システムの構築 (ESCANBER)」を基盤とし、タンパク質フリー天然ゴムの大量生産することを目指す新たな国際共同研究を天然ゴム生産国と実施する必要がある。

本国際共同研究の目的は、SDGs 達成に向け、ラテックスアレルギーの影響により化石資源由来の合成ゴムに奪われた天然ゴムの市場（天然ゴムの約 10%）を取り戻すことにより、パラゴムノキのプランテーション拡大と合成ゴム生産減を図り、CO₂ 排出量を年間約 5 千万トン削減することである。更に、タンパク質フリー天然ゴムの固形化することにより天然ゴムから低燃費タイヤを製造する先鞭をつけ、年間約 6 千万トン（※8）の CO₂ 排出を伴う化石資源由来の合成ゴムの天然ゴムに置き換えるための基盤（技術科学イノベーション(STI for SDGs)）を構築すること及び天然ゴムの利用増に基づく気候変動の適応策として未利用のブッシュにパラゴムノキのプランテーションを拡大するための基礎を築くことである。具体的には、①タンパク質フリー天然ゴムの大量生産に向けたゴム固形化技術の確立、②タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立、③天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化及び④資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発を行う。これにより創出される新産業は、精製天然ゴムを原料とする新産業、合成ゴムを天然ゴムに置き換える新産業、分解天然ゴムを原料とする新産業及び廃水処理の資源循環・環境保全技術による新産業である。さらに、ベトナム及び周辺国の科学技術を支え、天然ゴム産業を先導する技術者及び研究者を養成するための真に連携が強い科学・技術アカデミーを構築するための活動を行う。2020 年度は、実際のロールを用いた天然ゴムラテックスの乾燥状態の検証、天然ゴムラテックスを 150°C、45 秒間で乾燥することで得られた固形ゴムの構造解析による実証試験、加硫剤を配合した実証試験、加硫天然ゴムの生分解におけるパイロットスケールでの反応を構築するための微生物分解の実証試験、天然ゴム廃水からのメタン回収を向上するためのラボスケールの ABR の設置、脱タンパク質化天然ゴムの製造する工程から排出される廃水処理の実証試験を実施した。

国際コーディネーターは、コロナ禍の影響によりベトナムではなく、2020年6月1日より日本で国際コーディネーターとしての職務に従事した。具体的には、計14回のTV会議の準備と進行、3回の長岡技術科学大学への出張、電話・メールを通じた関係者との連絡、ベトナム周辺国（タイ）における研究動向及び市場動向の調査等、国内外における国際コーディネーター活動を行った。また、タンパク質フリー天然ゴムの市場調査、および、これに関連する東京の企業2社への訪問も行った。主な活動内容は以下の通りである。

1) SDD装置：SDD装置作製に関する調査および打合せ、予備試験に関する日程調整、入札のための情報収集、落札者決定後の装置搬送・据付業者の検索及び決定、SDD装置設置に関する現地調査（遠隔）、装置を設置する部屋の床耐荷重調査、配管調査

2) ベトナムの状況調査：在ベトナム日本国大使館公使へのコンタクト、Hitachi Zosen Vietnam Co., Ltd. Hanoi Branch へのコンタクト、国際コーディネーター（JST aXis『ベトナム在来豚の特性を活用した内在性レトロウイルス（PERV）フリーシステムの開発』との情報交換、ハノイ工科大学教員との情報交換、外務省の情報確認、旅行代理店情報収集

3) ベトナム進出企業への訪問調査（日本）

4) ベトナムおよびタイの天然ゴム産業に関する調査

これらの情報に基づき、SDD装置作製の進捗状況、コロナ禍の影響下におけるベトナムの状況、渡航の可能性、天然ゴム産業の状況を把握し、対策を検討した。

(2)研究題目1：「タンパク質フリー天然ゴム大量生産に向けたゴム固形化技術の確立」

研究グループA（リーダー：河原成元）

① 研究題目1の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

1-1 研究活動: SDD装置の作製

天然ゴムは、現在130℃で2時間乾燥することにより製造されている。しかしながら、乾燥工程での天然ゴムの劣化が深刻な問題となっているため、天然ゴムラテックスを乾燥する新たな技術の開発が切望されている。2020年度は、SDD装置作製に関する調査、デモ機を用いた予備試験、仕様策定、入札、落札者決定、SDD装置のハノイ工科大ゴム科学技術研究所への搬送・据付業者の決定、SDD装置設置に関する現地調査（遠隔）、装置を設置する部屋の床耐荷重調査、配管調査を行った。



図1 誘電加熱装置

1-2 研究活動: SDD法による固形ゴムの調製

2020年度は、デモ機を用いた予備試験によりSDD法による固形ゴムの調製は可能であることを確認した。また、日本側およびベトナム側にSDDのモデルとなる加熱装置を設置した。このモデルSDD装置を使用してHANRラテックスおよびDPNRラテックスをSDD法で150℃、45秒間乾燥することにより、劣化を伴わずに1%以下の水分含有率の固形ゴムが得られることを明らかにした。

② 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

コロナ禍の影響で 2020 年度の後期に若干の遅れが生じたが、研究期間が延びたことにより検証が深まった。特に、コロナ禍で急速に普及したオンライン会議により、日本で作製中の SDD 装置をベトナム側研究者に見てもらうことができたことは大きな収穫である。SDD 装置のダクト部分に関しても、住友理工、長岡技術科学大学、ハノイ工科大学および関係企業によるオンライン会議で詳細を議論してきた。頻繁にいつでもどこでも打合わせ会を実施できるようになったことは、大きなメリットである。SDD 装置をハノイ工科大学に設置した後も、オンライン会議を活用し、頻繁に打ち合わせを実施したい。また、当初計画では、SDD 法で固形化した天然ゴムの劣化は FT-NMR 測定で評価する予定であったが、これに加えて FT-IR 測定、ゲル含有率測定、グリーン強度測定により固形天然ゴムを多角的に評価することで、本研究で実装する天然ゴムラテックスの固形化技術の利点を裏付ける。SDD 法で得られる固形天然ゴムの物性が優れていることが実証されれば、SDD 法の長所を定量的に強調する。

③ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

タンパク質フリー天然ゴムは、天然由来の老化防止剤であるタンパク質を完全に除去しているため、天然ゴムの現行技術（130℃で 2 時間乾燥）を用いて固形化することはできない。そこで、既に小規模な実証試験（FS）を実施した低タンパク質化天然ゴム（タンパク質フリー天然ゴムのモデル）の生産技術と新規ゴム固形化技術（SDD 法）とを組み合わせ、タンパク質フリー天然ゴムの固形化技術を確立する。

④ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

天然ゴムラテックスを SDD に噴霧し、140～170℃で 15～60 秒間乾燥することにより、固形天然ゴムを回収する。固形天然ゴムの劣化評価は、FT-NMR や FT-IR 測定による構造解析により実施し、天然ゴムラテックスを乾燥するための最適な温度および時間を決定する。また、モデル機で決定した最適条件を実機に適応し、天然ゴムラテックスの固形化の実証試験を実施する。



図 2 SDD 装置の基礎



図 3 NMR 測定による天然ゴムの劣化評価

(3)研究題目 2：「タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立」

研究グループ B（リーダー：山本祥正）

① 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

2-1 研究活動：ラボスケールでのラテックス加硫配合最適化

SDD による天然ゴムの加硫は、天然ゴムの劣化を伴わずにタンパク質フリー天然ゴムから新

たなゴム製品を開発するための技術として期待されている。2020年度は、ラテックスに硫黄、ZnO およびステアリン酸を加え、モデル SDD 装置を用いて得られた配合ゴムを加硫した。また、SDD 法により調製した加硫ゴムの物性は従来法により調製した加硫ゴムよりも優れていることを見出した。さらに、「Single-use medical examination gloves —Specification for gloves made from natural rubber latex」の ISO 化を始めた。

2-2 研究活動: SDD 法による加硫配合最適化

SDD 装置のデモ機を用いて、硫黄、ZnO およびステアリン酸を配合した天然ゴムラテックスの乾燥を行った。得られたアズキャスト膜を加熱プレスを用いて加硫することにより優れた物性を示す加硫天然ゴムを調製できることを検証した。

② 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

天然ゴムに含まれるタンパク質は、ゴムの加硫に必須の ZnO が均一に分散するために重要な役割を果たすことを 2020 年度の取組で見出した。タンパク質が存在しないタンパク質フリー天然ゴムでは、ZnO を均一分散するためにタンパク質の代替物質を添加する必要がある。当初計画では、加硫条件を最適化することでタンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術を確立する予定であったが、研究期間が延びたことでタンパク質代替物質の添加により ZnO を均一分散してから加硫するアプローチも検討する。

③ 研究題目 2 の研究のねらい (参考)

タンパク質フリー天然ゴムは、加硫に重要な役割を担うタンパク質を完全に除去しているため、天然ゴムの加硫条件を適用することができない。それ故、タンパク質フリー天然ゴムのための加硫配合処方を検討する必要がある。本研究では、この配合処方をラテックスの状態でも最適化する。また、この加硫技術を SDD 法と組み合わせることにより 1 年間で新しい加硫技術を確立する。さらに、加硫技術の一部は国際標準 (ISO) 化する。

④ 研究題目 2 の研究実施方法 (参考)

天然ゴムラテックスに硫黄、加硫促進剤を混合し、SDD 法によりラテックスを乾燥することにより、固形状の配合ゴムを調製する。配合ゴムの加硫特性はレオメーターにより求め、加硫曲線から最適加硫時間を決定する。また、得られた加硫天然ゴムの物性を評価し、SDD 法による加硫天然ゴムの調製を最適化する。

(4) 研究題目 3 : 「天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化」

研究グループ C (リーダー: 笠井大輔)

① 研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

3-1 天然ゴム分解菌と脱硫酵素による天然ゴム製品分解系の拡大

天然ゴム材料の生分解系を拡大することを目的として、硫黄架橋した市販の天然ゴムシートの生分解技術の構築を行なった。まず、天然ゴムシートの脱硫を行い、ポリイソプレン分解細菌による分解性を向上させることを狙って、公立鳥取環境大にて白色腐朽菌酵素による天然ゴムシートの分解試験を行なった。現在、得られた反応後のゴムシート試料とポリイソプレン分解細菌の反応試験を長岡技科大にて行なっている。

3-2 天然ゴム分解能評価系の確立

ポリイソプレン分解細菌酵素を反応させた際の天然ゴムの分解性を評価するために、天然ゴムまたは合成ポリイソプレンを基質としたポリイソプレン分解酵素の反応系を構築した。得られた反応系で上記ゴムを反応させた後、各種クロマトグラフを用いた反応産物の検出、シッフ試薬による染色法、反応に利用される酸素の消費量を指標とした分解能評価系を構築できた。

3-3 天然ゴム分解反応条件の最適化

ポリイソプレン分解細菌の分解反応を最適化するために、ジャーファーメンターを用いて、温度、攪拌速度、酸素濃度、pH等の反応条件の最適化を行った。そして、ポリイソプレン分解酵素が35°C、pH 7.5の条件で最も効率的に働くことを明らかにした。さらに市販ゴムシートの脱硫反応に関わる白色腐朽菌の菌体外粗酵素は、35°Cでゴムの軟化傾向が認められたことから、ゴム生分解は35°Cが最も効率的であることが示唆された。



図4 引張試験機によるゴムシート分解の評価

② 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

2020年度はコロナ禍の影響により渡越できずに国内での基礎研究となった。そのため、現地での実証実験の予定には遅れが生じた。しかしながら、その時間を国内での検証に充てることができたため、天然ゴムの生分解評価法に関する基礎的知見が深まったと考えている。また当初は対面での実施を予定していた会議等も実施不可能になったが、オンラインでの打合せ変更することでその影響は最小限に抑えられたと考えている。当初の計画では、引張試験機によるゴムシートの分解評価系を確立する予定であったが、これまでの打合せによって引張試験に加えてBOD(生物学的酸素要求量)を測定することによる天然ゴム分解評価系の構築を視野に入れた。それにより、天然ゴムの物性のみならず、生分解に関わる微生物の動態を評価する多角的な評価法の確立につながると期待される。

③ 研究題目3の研究のねらい(参考)

これまでに天然ゴム分解菌によるフラスコスケールでの天然ゴム分解を達成した。さらに、ゴム製品中の配合剤除去に関わる白色腐朽菌の脱硫酵素を発見し、天然ゴムの生分解技術を実装するための基盤を構築した。しかし、本技術を実装するために必要な工業規模への反応系拡大を達成するためには、分解反応の最適条件を検討する必要がある。加えて、これまでに天然ゴムの生分解技術の国際標準化に向けた取り組みはなされていなかった。本研究では、反応系の拡大と最適な反応条件の決定、そして生分解の国際標準化に向けた評価系の確立を目指す。

④ 研究題目3の研究実施方法(参考)

引き続きジャーファーメンターを用いて、天然ゴム生分解反応におけるデータ取得を行う。さらに、引張試験によるゴムシートの物性評価の検体数を増やすことで、再現性の高い試験結果を得る。加えて、天然ゴム生分解時のBODを測定することで、天然ゴムの生分解評価系の確立を行う。

(5)研究題目 4：「資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発」

研究グループ D（リーダー：山口隆司）

① 研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

4-1 研究活動：天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発

高濃度のアンモニアを含む天然ゴム廃水から有機物除去及びメタン回収を行う技術の開発を目的として、微生物間の電子伝達を促進する電気伝導物質を添加し、連続処理試験を行った。15 g/L を添加した系で最大の有機物除去率を示した一方で、20 g/L 以上すると有機物除去率の低下が見られた。

4-2 研究活動：密閉型 DHS によるアンモニア及び揮発性有機化合物除去技術の開発

脱タンパク質ゴムの製造工程から発生するアンモニアおよび揮発性有機化合物を除去可能な新しいバイオリアクターの開発を目的として 2020 年度は装置の設計を行った。装置は現地で簡単に動かせるように太陽光パネルから給電する形とした。また運転管理を簡素化するため電気伝導度計や pH 電極を設置し随時モニタリングを行える形とした。

4-3 研究活動：現行処理システムの水質調査と温室効果ガス排出削減の評価

2020 年度はベトナムの大学と連携して、天然ゴム工場の廃水処理システムの調査を行い、処理水質やその処理コストを明らかにした。SATREPS で行った現地調査（2014 年）で見られなかった、工業団地内に設置されている集合型の産業廃水処理システムで同時に処理されているケースが見られた。

② 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

2020 年度は新型コロナウイルスの感染拡大により当初予定していた相手国ベトナムでの研究活動が制限された。特に、4-2 および 4-3 について現地での研究と調査を予定していたため、一部の内容を国内で行った。4-3 については、ベトナム国内でのベトナムチームの行動も制限されていたため、新たに国家大学ホーチミン市自然科学大学の研究者の協力によって現地処理システムの調査を行った。その結果、これまで調査で取得できなかった形態の工場のデータを得ることができた。

③ 研究題目 4 の研究のねらい（参考）

天然ゴム製造工程では高濃度の有機物及び窒素分を含む廃水が大量に発生する。既往の研究でゴム・メタン回収の技術を確立した。一方で、高い窒素除去率と有機物分解・メタン回収との両立には至っていない。本申請では、有機物及び窒素の除去とメタン回収を高いレベルで実現し、かつ、温室効果ガス排出を抑制できる密閉型 DHS リアクターを核とした高度資源回収型廃水処理技術を開発する。



図 5 ラボスケールリアクター



図 6 工業用廃水処理装置

④ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

4-1 については引き続き、長岡技術科学大学内にラボ機を設置し連続処理実験を行う。4-2 は、模擬廃水およびガスを作成し、処理実験を行う。4-3 は、現地に渡航できる場合は、日本人研究者が渡航し排水処理システムから排出される温室効果ガス量の測定を行う。渡航できない場合は、現地の研究者と協力して温室効果ガスの測定や試算方法について検討を行う。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

本プロジェクト開始当初、ベトナムへの渡航制限や日本国内の移動自粛により計画の遅れが心配されたが、オンライン会議を効果的に活用することにより、SDS 装置の作製の遅れのみで留めることができた。この遅れも既に解消されており、2021 年度は、SDD 装置を調達し、ベトナム税関通過、ハノイ工科大ゴム科学技術研究所への搬送および据付を 9 月までに実施する予定である。日本国内やベトナムでのワクチン接種が 9 月までに完了しない場合には、引き続きオンライン会議を活用することにより遅れを最小限に留める。

また、長岡技術科学大学はスーパーグローバル大学創成支援事業に採択されており、国際連携教育（GIGAKU 教育ネットワーク）及び国際的な産学官連携（GIGAKU テクノパークネットワーク）を核としたネットワークを構築している。ベトナムのハノイ工科大学にも GIGAKU テクノパークハノイオフィスが設置されており、日本で博士号を取得したベトナム人コーディネーターが勤務している。令和元年度には先端研究基盤共用促進事業（研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム（SHARE））にも採択され長岡技術科学大学分析センターの先端分析機器がインターネット回線を通じて完全遠隔もしくは半遠隔で利用可能となっている。このような現地との緊密した共同研究体制や遠隔においても研究を継続できる基盤を活用し、渡航制限解除後に迅速に研究を遂行できるように準備を進める。SHARE の長岡技術科学大学とハノイ工科大学が相互に研究設備・機器を利活用し、成果を達成することができれば、社会的インパクトは絶大である。各研究項目における 2021 年度の活動計画は下記の通りであり、2021 年度中に成果達成の見通しは明るい。

研究題目 1：「タンパク質フリー天然ゴム大量生産に向けたゴム固形化技術の確立」

1-1 研究活動: SDD 装置の作製

SDD 装置を調達し、ベトナム税関通過、ハノイ工科大ゴム科学技術研究所への搬送および据付を 9 月までに実施する。設置した SDD 装置を用いて、ベトナムの天然ゴムラテックスを乾燥する条件の最適化を検討する。

1-2 研究活動: SDD 法による固形ゴムの調製

ハノイ工科大学に設置する SDD 装置で天然ゴムラテックスの乾燥を検討することにより最適乾燥条件を決定する。

研究題目 2：「タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立」

2-1 研究活動: ラボスケールでのラテックス加硫配合最適化

モデル SDD 装置を用いて、ラテックスに硫黄、ZnO およびステアリン酸を配合するための最適条件

【令和 2 年度実施報告書】【210531】

を決定する。

2-2 研究活動: SDD 法による加硫配合最適化

ハノイ工科大学に設置する SDD 装置を用いて加硫剤を配合したラテックスの固形化を検討することにより、天然ゴム製品開発のための加硫技術を確立する。

研究題目 3 : 「天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化」

3-1 研究活動: 天然ゴム分解菌と脱硫酵素による天然ゴム製品分解系の拡大

天然ゴム材料の微生物分解系の拡大を目的に、硫黄架橋した市販の天然ゴムシートを使って微生物酵素による前処理（公立鳥取環境大）、ならびにそれを炭素源とした微生物培養を行う（長岡技科大）。また天然ゴム材料のモデル化合物を作成する（住友理工）。

3-2 研究活動: 天然ゴム分解能評価系の確立

分解能の評価系構築に向けて既知の天然ゴム分解酵素を用いた分解産物の特定を行う。また、ガスクロマトグラフィー装置を実験室に設置し、ゴム分解産物の検出に向けた予備実験を行っている（長岡技科大）。

3-3 研究活動: 天然ゴム分解反応条件の最適化

取得済みの天然ゴム分解菌を用いたゴム分解反応において、ジャーファーメンターを用いて温度、攪拌速度、酸素濃度、pH 等の反応条件の最適化を行う。

研究題目 4 : 「資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発」

4-1 研究活動: 天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発

2020 年度はメタン発酵を促進する電気伝導物質の添加による影響について模擬天然ゴム廃水を用いて評価したところ、アンモニア阻害を回避できる可能性が示唆された。2021 年度は、電気伝導物質の添加による嫌気性処理プロセスの性能向上のメカニズムについて明らかにする。

4-2 研究活動: 密閉型 DHS によるアンモニア及び揮発性有機化合物除去技術の開発

密閉 DHS リアクターの設計条件について検討を行い、ベトナム側の研究者と連携して密閉型 DHS の設置改良に向けて協議する。

4-3 研究活動: 現行処理システムの水質調査と温室効果ガス排出削減の評価

2020 年度はベトナムの大学と連携して、天然ゴム工場の廃水処理システムの調査を行い、処理水質やその処理コストを明らかにした。2021 年度は、排出される汚泥量や温室効果ガス量について明らかにしていく。

III. 社会実装に向けた課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

研究成果を社会実装につなげるための課題は、ハノイ工科大学ゴム科学技術研究所への SDD 装置の搬送及び据付の調整である。オンライン会議による複数回の打合せにより、ハノイ工科大学内の設置場所の確保などの準備は順調に進んでおり、9 月を目前に SDD 装置はハノイ工科大学に設置できる予定である。これまでのモデル実験の結果に基づき、9 月以降にハノイ工科大学の SDD 装置で天然ゴムラテッ

クスの乾燥および加硫を実施し、社会実装に向けた実証試験を行う。また、加硫ゴムの生分解および天然ゴム廃水の資源回収型廃水処理の実証試験も並行して実施し、持続可能な天然ゴムエコシステムを社会実装する。各研究項目の状況は下記の通りである。

(2) 研究題目 1 : 「タンパク質フリー天然ゴム大量生産に向けたゴム固形化技術の確立」

研究グループ A (リーダー: 河原成元)

新型コロナウイルスの影響により、SDD 装置の作製に若干の遅れが生じたが、オンライン会議を複数回実施することにより、ハノイ工科大学内の装置の設置場所や必要なインフラ情報を共有することができ、現時点で遅れは解消している。9 月を目途に SDD 装置をハノイ工科大学に設置し、天然ゴムの固形化の実証試験を開始する。9 月までに渡航制限が緩和されない場合は、オンライン会議による研究打合せや長岡技術科学大学の研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム (SHARE) を効果的に活用し、渡航制限解除後に迅速に実証試験が実施できるように準備を進める。

(3) 研究題目 2 : 「タンパク質フリー天然ゴム製品開発のための加硫技術の確立」

研究グループ B (リーダー: 山本祥正)

2020 年度のコロナ禍においても、モデル機による実証試験を日本側およびベトナム側で実施でき、結果をオンライン会議で共有してきた。ハノイ工科大学の SDD 装置が設置されるまで引き続きオンライン会議を活用し、モデル機による実証試験と情報共有を行い、渡航制限解除後に迅速に SDD 装置を用いた実証試験が実施できるように準備を進める。

(4) 研究題目 3 : 「天然ゴム製品の生分解技術の確立とその国際標準化」

研究グループ C (リーダー: 笠井大輔)

天然ゴム生分解の国際標準化を達成するためには、ベトナム国内をはじめとして、さまざまな地域において設置が簡便な機器を用いて、かつ現位置による評価を可能とする必要がある。そのためには、「必要とする機器が簡易であること」、「簡便な操作によって評価できること」に重点を置き評価系を確立する必要があると考えた。それらの課題を解決するためには、引張試験による物性評価や BOD による分解微生物の動体評価が適していると考えている。

(5) 研究題目 4 : 「資源回収型廃水処理を核とした環境保全技術の開発」

研究グループ D (リーダー: 山口隆司)

天然ゴム製造工程から排出される排水の処理方法と排出される温室効果ガスの全容把握に向けて、引き続きベトナムと日本の研究者が密接に連絡を取り合い、調査を行うことが必要である。そのためこれまで通りオンライン会議によって情報交換を行うとともに、渡航制限解除後にすぐに調査や実証試験を行えるように準備を進める。

IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

長岡技術科学大学は、卓越した SDGs への貢献実績により、国連から SDGs の目標 9 (イノベーション) のハブ大学に任命され、UNESCO から UNITWIN 教育研究プログラム「技学 SDGs インスティテ

【令和 2 年度実施報告書】【210531】

ュート」が認証されており、本研究成果及び人材育成網の国際展開を組織として推進することができる。また、2021年6月1日から2024年5月31日までの第2期においても、引き続きSDGsの目標9のハブ大学となることが正式に決定した。2020年度に実施したSDD装置のロールを用いた天然ゴムラテックスの乾燥状態の検証、天然ゴムラテックスを150°C、45秒間で乾燥することで得られた固形ゴムの構造解析による実証試験、加硫剤を配合した実証試験、加硫天然ゴムの生分解におけるパイロットスケールでの反応を構築するための微生物分解の実証試験、天然ゴム廃水からのメタン回収を向上するためのラボスケールのABRの設置、脱タンパク質化天然ゴムを製造する工程から排出される廃水処理の実証試験は、SDGsの目標9（産業と技術革新の基盤をつくろう）に貢献することができ、日本のプレゼンスの向上に寄与する。

V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VII. その他（非公開）

以上

V. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2020	Nguyen T. Ha, Tran N. Anh, Tran T. Thuy, Seiichi Kawahara, Toshiaki Ougizawa, "Preparation and application of epoxidized natural rubber from Artocarpus heterophyllus gum", Polymer Bulletin, 2020,	https://doi.org/10.1007/s00289-020-03361-7	国際誌	in press	
2020	I. P. Mahendra, Mai K. Linh, Nguyen N. Thang, Vu T. Thuy, Le T. Trang, Le X. Thinh, Nguyen H. Phuong, Nguyen T. Ha, Nghiem T. Thuong, Seiichi Kawahara, Yoshimasa Yamamoto, Phan T. Nghia, "Protein removal from natural rubber latex with Fe3O4@Al2O3 nanoparticle", Journal of the Brazilian Chemical Society, 2021, Vol. 32, pp. 320-328	https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200182	国際誌	発表済	
2020	N. T. Thuong, N. P. D. Linh, C. H. Ha, P. T. Nghia, S. Kawahara, "Preparation and properties of nanocomposite from NR and natural Na+-montmorillonite", Rubber Chemistry and Technology, 2020, Vol. 93, pp. 286-296.	https://doi.org/10.5254/rct.20.80408	国際誌	発表済	
2020	Nguyen Thu Ha, Cao Hong Ha, Do Le Viet Hung, Nguyen Pham Duy Linh, Tran Thi Thuy, Phan Trung Nghia, Seiichi Kawahara, Toshiaki Ougizawa, "Preparation of Electromagnetic Shielding Coating Based on Natural Rubber", Materials Transactions, 2020, Vol. 61, pp. 1544-1549.	https://doi.org/10.2320/matertrans.MT-MN201901	国際誌	発表済	
2020	Nghiem Thi Thuong, Tran Anh Dung, Nurul Hayati Yusof, Kawahara, Seiichi, "Controlling the size of silica nanoparticles in filler nanomatrix structure of natural rubber", 2020, Polymer, Vol. 195, 122444.	https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.12244	国際誌	発表済	
2020	Nghiem Thi Thuong, Phan Trung Nghia, Seiichi Kawahara, "Formation of an in situ nanosilica nanomatrix via graft copolymerization of vinyltriethoxysilane onto natural rubber", Polymers for Advanced Technology, 2020, Vol. 31, pp. 482-491.	https://doi.org/10.1002/pat.4785	国際誌	発表済	
2020	Nguyen Thu Ha, Do Quoc Viet, Tran Anh Dung, Seiichi Kawahara, "Preparation of hydrogenated natural rubber with nanomatrix structure", Polymers for Advanced Technology, 2020, Vol. 31, pp. 86-93.	https://doi.org/10.1002/pat.4749	国際誌	発表済	
2020	Thu H. Nguyen, Thi T. Tran, Seiichi Kawahara, Toshiaki Ougizawa, "Preparation of polyaniline nanomatrix formed in natural rubber", Polymer Journal, 2020, Vol. 52, pp. 1357-1365.	https://doi.org/10.1038/s41428-020-00403-9	国際誌	発表済	
2020	Nguyen, L.H., Nguyen, H.D., Tran, P.T., Nghiem, T.T., Nguyen, T.T., Dao, V.L., Phan, T.N., To, A.K., Hatamoto, M., Yamaguchi, T., Kasai, D., Fukuda, M., "Biodegradation of natural rubber and deproteinized natural rubber by enrichment bacterial consortia", Biodegradation, 2020, 4-6, pp. 303-317.	https://doi.org/10.1007/s10532-020-09911-0	国際誌	発表済	

論文数 9 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 9 件
 公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2020	Takayuki Saito, Masaki Yamano, Kazumi Nakayama, Seiichi Kawahara, "Quantitative analysis of crosslinking junctions of vulcanized natural rubber through rubber-state NMR spectroscopy", Polymer Testing, 2021, Vol. 96, 107130.	https://doi.org/10.1016/j.polymer-testing.2021.107130	国際誌	発表済	
2020	Yoshimasa Yamamoto, Kota Endo, Quentin Tevenot, Kenichiro Kosugi, Ken Nakajima, Seiichi Kawahara, "Entropic and Energetic Elasticities of Natural Rubber with a Nanomatrix Structure", Langmuir, 2020, Vol. 36, pp. 11341-11348.	https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c021	国際誌	発表済	
2020	Seiichi Kawahara, Asangi Gannoruwa, Ken Nakajima, Xiaobin Liang, Isamu Akiba, Yoshimasa Yamamoto, "Nanodiamond Glass with Rubber Bond in Natural Rubber", Advanced Functional Materials, 2020, Vol. 30, 1909791(2020).	https://doi.org/10.1002/adfm.201909791	国際誌	発表済	分野トップレベルの雑誌
2020	Luu Thanh Huyen, 程傲然, 山本祥正, 河原成元, "水に浸せきしたタンパク質フリー天然ゴムおよびその加硫物の引張強度", 日本ゴム協会誌, 2020, Vol. 93, pp. 293-299.	https://doi.org/10.2324/gomu.93.293	国内誌	発表済	
2020	Gibu, N., Arata, T., Kuboki, S., Linh, D.V., Fukuda, M., Steinbüchel, A., Kasai, D., "Characterization of the genes responsible for rubber degradation in Actinoplanes sp. strain OR16", Appl. Microbiol. Biotechnol., 2020 Vol. 104(17), pp. 7367-7376.	https://doi.org/10.1007/s00253-020-10116-1	国際誌	発表済	
2020	Watari, T., Wakisaka, O., Sakai, Y., Hirakata, Y., Tanikawa, D., Hatamoto, M., ... & Yamaguchi, T. (2021). Anaerobic biological treatment of EG/PG water-soluble copolymer coupled with down-flow hanging sponge reactor. Environmental Technology & Innovation, 21, 101325.	https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.1013	国際誌	発表済	

論文数 6 件
 うち国内誌 1 件
 うち国際誌 5 件
 公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

V. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

V. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日 (例: 2020/4/1)	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2020	2020/11/27	第31回エラストマー討論 会英語優秀発表賞	Electrochemical Bromination and Epoxidation of Natural Rubber in Latex Stage	山本祥 正, 河原 成元	日本ゴム協 会	その他	
2020	2020/4/24	長瀬研究振興賞	有機廃棄物からのプラスチック 生産を目指した微生物直 接変換技術の開発	笠井大輔	公益社団法 人長瀬科学 技術振興財 団	その他	

2 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日 (例: 2020/4/1)	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

V. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等／実証試験等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日 (例:2020/4/1)	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2020	2020/6/4	キックオフミーティング日本	日本	15人(0人)	非公開	「持続可能な天然ゴムエコシステムの社会実装拡大に向けた技術開発と新産業の創出」に関する日本の研究者のミーティングを行った。
2020	2020/6/12	キックオフミーティング日本・ベトナム	日本・ベトナム	22人(5人)	非公開	「持続可能な天然ゴムエコシステムの社会実装拡大に向けた技術開発と新産業の創出」に関する日本・ベトナム合同シンポジウムを行った。
2020	2020/7/17	進捗状況報告会	日本	17人(0人)	非公開	プロジェクトの概要説明および進捗報告を行った。
2020	2020/9/11	全体進捗状況報告会	日本・ベトナム	25人(5人)	非公開	各グループの進捗状況を報告し、今後の対策を検討した。
2020	2020/11/26	第31回エラストマー討論会、オンライン、英語セッション	日本・ベトナム	90人(3人)	公開	日本ゴム協会と本研究が共同でゴムに関する国際会議をオンライン開催した。
2020	2020/12/19	早稲田佐賀中学SDGs講演会	日本	44人	公開	SDGsに関する長岡技術科学大学の取り組みとして本研究を紹介した。
2020	2021/2/2	新発田高校アウトリーチ活動	日本	7人	非公開	天然ゴムを植物から抽出する実験を行った。

7 件

② 実証試験等

年度	実施期間(実施日)	実証項目	実施場所	概要
2020	2020年4月12日	誘電加熱式ロールでのラテックス乾燥検証	トクデン(株)	加熱方法の決定を行うため、実際のロールを用いて乾燥状態の検証を実施した。
2020	2020年6月1日～	150℃、45秒間乾燥	長岡技術科学大学	天然ゴムラテックスを150℃、45秒間で乾燥し、劣化の有無をFT-IRおよびFT-NMRを用いて解析することにより実証試験を行った。
2020	2020年6月1日～	150℃、45秒間乾燥	ハノイ工科大学	ベトナムの天然ゴムラテックスを用いて、150℃、45秒間で十分乾燥できること及びこの乾燥方法で天然ゴムは劣化しないことの実証試験を行った。
2020	2020年6月1日～	150℃、45秒間乾燥加硫配合	東京工業高等専門学校・沼津工業高等専門学校	ベトナムの天然ゴムラテックスに加硫剤を混合し、150℃、45秒間乾燥する配合の実証試験を行った。
2020	2020年7月1日～	既存設備にて脱タンパクゴムの乾燥条件検証	住友理工(株)	脱タンパク化したラテックスを用いて乾燥条件の検証を実施した(誘電加熱方式ではない既存設備で検証)。
2020	2020年6月1日～	加硫天然ゴム生分解技術の開発	長岡技術科学大学 公立鳥取環境大学	加硫天然ゴム生分解におけるパイロットスケールでの反応系を構築するために微生物分解の実証試験を行った。
2020	2020年6月1日～	天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発	長岡技術科学大学	天然ゴム廃水からのメタン回収率を向上するためラボスケールのABRを設置し実証試験を行った。
2020	2020年6月1日～	天然ゴム製造廃水からの有機物・窒素除去とメタン回収の技術開発	ハノイ工科大学	脱タンパクゴムの製造する工程から排出される廃水を処理する実証試験を行った。

8 件