

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

天然ゴムを用いる炭素循環システムの構築

(ベトナム)

平成 24 年度実施報告書

代表者：福田 雅夫

長岡技術科学大学工学部・教授

<平成 22 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトは、ベトナムにおける天然ゴムの急速な生産拡大と地球温暖化対策を背景に、ベトナムで実装できる天然ゴムの高度精製有機材料生産技術とゴムナノテクノロジーを核とする天然ゴムの利用の高度化と用途の拡大を実現する技術、天然ゴム生産現場で有効な排水処理技術やゴム廃木からの次世代バイオ燃料生産技術をベトナム側と共同で開発することを目的とする。この技術開発により年間約 5.0 億トンの膨大な二酸化炭素排出を伴う化石資源由来の合成ゴムの利用をカーボンニュートラルな天然ゴムに置き換えるとともに新たな機能性ポリマーを創成して新産業基盤の構築につなげ、地球温暖化・気候変動緩和策となる天然ゴム廃水処理およびエネルギー生産への天然ゴム利用の基礎の構築をめざす。新たな機能性ポリマー創成では、超軽量タイヤなどの高性能ゴム製品だけでなく高付加価値な高機能性ポリマーへの利用展開も含め、持続可能な利用への本格的展開をめざす。また、天然ゴムの増産により危惧される廃水から放出される温室効果ガスの増加、環境汚染の拡大、廃木の放置蓄積を解決する、先進排水処理技術と次世代バイオ燃料生産技術の構築をめざす。さらに、天然ゴムにかかわる新産業を支える人材および環境保全に資する人材の育成にも努める。平成 22 年度後半のベトナムとの密な交流を経て本格開始に至った平成 23 年度は、天然ゴムの固体 NMR 測定、低タンパク質天然ゴム調製、ナノマトリックス構造形成、廃木の前処理技術と分解微生物スクリーニング法の確立、天然ゴム製造廃水の分析法の確立と現状調査、ラボスケール廃水処理実験で成果を上げた。平成 24 年度はベトナム新鮮天然ゴムの固体 NMR 測定、タンパク質非含有天然ゴム調製、3 次元ナノネットワークを有するナノマトリックス構造形成、スクリーニングによる廃木及び天然ゴムの分解微生物の取得、天然ゴム製造廃水の現状調査、現地でのラボスケール廃水処理実験の設備設置と運転などで成果を上げて、おおむね当初計画に沿った進捗を達成した。前年度に計画された研究センターの設置が取り止めになったが、ハノイ工大側の粘り強い努力により天然ゴム精製パイロットプラントや NMR の設置場所が確保され、建築工事が開始された。8 月にはハノイ工大にてワークショップを開催し、外部の関連研究者も参加して活発な情報交換を行った。また、ベトナムゴム研究所（ホーチミン市近郊）NMR を用いる天然ゴム品質評価法の標準化を推進する TCVN-ISO 集会を開催した。ベトナムゴムグループの幹部などゴム関連企業関係者が多数集まり、熱心な意見交換が行われた。また、ハノイ工科大学側各グループの中堅スタッフが日本での研修を受け、研究のスキルと共通理解を深めた。

2. 研究グループ別の実施内容

(1) 新規天然ゴム評価法の開発

① 研究のねらい

天然ゴムの末端構造とタイヤ性能には相関があり、新開発の磁場勾配固体 NMR プローブにより末端構造の解明が可能になる。この末端構造の解析技術を確立し、工業原料として品質を合理的に等級化できる新規天然ゴム評価法の開発する (図 1)。

② 研究実施方法

ベトナム新鮮天然ゴムおよびベトナム市販天然ゴムについて磁場勾配マジック角回転プローブを用いて固体 NMR 測定によるシグナルを帰属し、末端構造と物性との関係に基づく新しい標

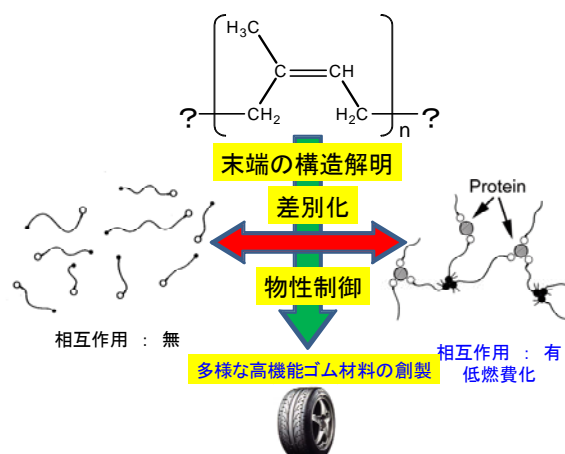


図1 天然ゴムの末端構造の解明

準の策定をめざしている。新鮮天然ゴムおよび市販天然ゴムについて、新しい標準にかかわるラウンドロビン方式試験を民間企業の協力を得て実施し、その妥当性を検証する。新しい標準に基づくベトナム国内標準案を標準化委員会へ提出し、さらに国際標準案を作成する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

長岡技術科学大学で開発した磁場勾配マジック角回転プローブを用い、当初計画であったベトナム新鮮天然ゴムの固体 NMR 測定を実施した。得られたシグナルの帰属をおこない、市販天然ゴムとの違いや末端基に由来するシグナルの解析を達成した。当初計画通りに進捗している。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

来日した相手国側 Nghia 講師に、磁場勾配マジック角回転プローブを用いた固体 NMR 測定についての研修を実施した。また、平成 24 年 9 月にハノイ工科大講師の Nguyen Thu Ha 氏を長岡技術科学大学材料工学専攻博士後期課程の学生として受け入れた。NMR による天然物のキャラクタリゼーションをテーマとすることにより固体 NMR 測定の教育を行っている。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

当初予定していた天然ゴム研究センターの設置が取り止めになり、既存の建物内に磁場勾配マジック角回転プローブ付固体 NMR 装置の設置場所を確保し、部屋を新設する工事に着手した。平成 25 年度秋頃に導入を予定している。

(2) 高性能ゴムの開発

① 研究のねらい

天然ゴムの脱タンパク質精製技術を改良してより高度精製技術を確立する。また天然ゴムを高純度精製してモノマー共重合とナノ相分離構造の制御を施し、制振性に優れたナノマトリックス構造を有する高性能ゴム(図 2)を開発する。高性能ゴムの開発で、天然ゴムの使用量抑制と合成ゴムの天然ゴムへの転換を図る。

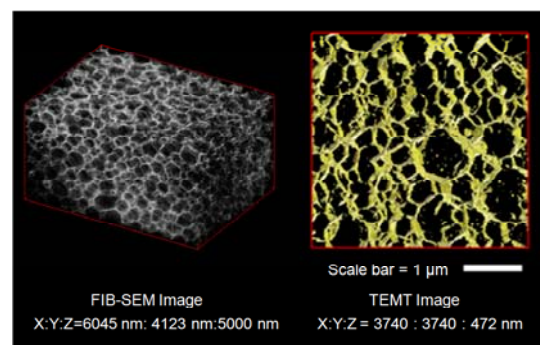


図2 ナノマトリックス構造の3次元イメージ

②研究実施方法

ベトナムにおいてラボスケールでのタンパク質非含有天然ゴム調製実験をおこなうため、現地に天然ゴム精製装置(テストプラント)を設置する。テストプラントを用いてタンパク質非含有天然ゴムの試験調製を実施し、条件検討を行う。テストプラントを用いて試験調製したタンパク質非含有天然ゴムのプロトタイプ試料について物性測定を実施する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

ベトナムでのタンパク質非含有天然ゴムの調製に成功した。また、平成 25 年度に計画している天然ゴム精製装置テストプラントに関わる調査と設計を実施した。当初の計画通り進捗している。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

ハノイ工科大にて Thu Ha Nguyen 講師および Tran Thi Mai 研究員と共にタンパク質非含有天然ゴムを調製し、調製方法および分析方法に関する技術移転を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

天然ゴム精製装置テストプラントの設置場所をハノイ工科大の敷地内に確保した。既に設置場所の工事に着手し、平成 25 年度夏頃にテストプラントが完成する予定である。

(3) 新規高機能ポリマーの開発

①研究のねらい

ナノマトリックス構造を有する高性能ゴムのスルホン化や脱タンパク質精製天然ゴムのエポキシ化とリチウム塩添加により、イオン電池・燃料電池用電解質などに適した新規高機能ポリマー素材を開発する。

②研究実施方法

脱タンパク質精製天然ゴムのグラフト共重合によりナノマトリックス構造を形成した高性能ゴムを調製し、電子顕微鏡による3次元形態観察をおこなってナノマトリックスの3次元ナノネットワーク構造を確認する。さらに、スルホン化によりナノマトリックス構造のイオン伝導性を向上させ、新規高機能ポリマーを開発する。また、ナノマトリックス構造形成過程のスケールアップを行う。

② 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

3次元ナノネットワークとしてのナノマトリックス構造を形成し、その3次元形態観察を実施するのが当初計画であった。精製天然ゴムにスチレンをグラフト共重合後にスルホン化して3次元ナノネットワークを有するナノマトリックス構造の形成に成功した。さらに TEM を用いた3次元形態観察にてナノマトリックス構造を確認した。当初計画通りに進捗している。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

ハノイ工科大にエバポレーター、超音波洗浄機、反応装置を導入し、グラフト共重合に必要な設備を揃えた。また、グラフト共重合を行う際に必要となる精製天然ゴムを Thu Ha Nguyen 講師および Tran Thi Mai 研究員と共に調製した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

なし

(4) ゴム廃木からの次世代バイオ燃料生産技術の開発

① 研究のねらい

ゴム廃木からの次世代バイオ燃料生産技術の開発：パラゴム樹の廃木に適した破砕法、分解微生物、分解酵素を選抜・改良し、効率的に次世代バイオ燃料を生産する技術を開発する。成果目標は、残存ゴム成分分解菌 3 株以上およびゴムの樹の廃木を原料とする次世代バイオ燃料生産技術の確立(糖化率 50%)である。

② 研究実施方法

ゴム廃木からの次世代バイオ燃料生産技術の開発：パラゴム樹の廃木に適した破砕法、分解微生物、分解酵素を選抜・改良し、効率的に次世代バイオ燃料を生産する技術を開発するために、H2 2 年度は、廃木の確保および微生物スクリーニング系について、日本・ベトナム双方で統一した研究が可能となるように共通プロトコールを作成する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

糖化处理の前段となるゴム廃木の前処理技術の評価手法を確立し、前処理済みサンプルでの分解能力

を評価することと、最適分解微生物のスクリーニング方法を確立することを達成することが当初計画であった。前年度に確立した最適分解微生物のスクリーニングのプロトコールに従って、廃木分解微生物およびゴム分解微生物のスクリーニングを実施し、優良菌株の選抜をおこなった。さらに優良菌株について分解能と菌学的性質の解析を進めた。当初計画通りに進捗している。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

最適分解微生物のスクリーニング方法のプロトコールをベトナム側に提供した。また、来日した Huong 講師、Anh 講師に技術指導をおこなった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

なし

(5) 資源回収型廃水処理技術の開発

① 研究のねらい

ゴム廃水の温室効果ガス排出能・分解機構の評価、および資源回収型廃水処理技術の開発を行う。

② 研究実施方法

ゴム製造・加工廃水の成分やその分解機構の解明、現状調査等により、ゴム製造廃水の温室効果ガス排出能を評価する。また、廃水の分解機構に関する基礎知見を廃水処理技術の開発にフィードバックする。同時に、ゴム製造・加工廃水からのゴム資源回収・ゴム残渣液分解処理を含む廃水処理技術の開発を行い、ゴムやメタンの回収率を向上することで、高度資源回収型廃水処理技術を確立する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

廃水の分析法の確立と現状調査と精製排水の組成調査、現状の廃水処理システムの温室効果ガスの放出能および微生物活動の調査、ラボ機のハノイ工科大への設置と処理性能の把握、パイロットスケールリアクターの設計に着手するのが当初計画であった。ベトナムでの資材調達の遅れから、ハノイ工大に設置予定だったラボ機を長岡技大に設置して研究を進めた後、ハノイ工大にラボスケールリアクターおよび水質分析機器を設置した。実廃水の取得が可能になるまでの間、模擬天然ゴム製造廃水(人工廃水)によるリアクターのスタートアップ運転を実施中である。また現状の廃水処理システムの調査として、ベトナムゴム研究所(RRIV)内の開放型嫌気性タンクからの温室効果ガス放出量、廃水処理性能の調査および微生物相解析を行った。RRIV に設置予定のパイロットスケールリアクターに関して、RRIV 側と処理プロセスの詳細、設置箇所、運転管理方法等に関する打ち合わせを終え、次年度中に導入できる目処が立った。廃水の分析法確立と調査、ラボ機の性能把握、現状の廃水処理システムの調査、パイロットスケールリアクターの設計を進めて期待した成果を得ており、当初計画通りに進捗している。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

省エネの資源回収型廃水処理に関して、日本側とベトナム側からそれぞれ処理プロセスを提案し、意見交換後、ラボスケールリアクターのプロセス決定を行った。ハノイ工大および RRIV に設置したガスクロマトグラフィによるガス組成分析および管理方法に関する講習会を実施した。ラボスケールリアクターの設置に伴い、装置の運転・管理方法、水質分析方法およびデータ整理方法等に関するハノイ工科大への技術移転を行った。現状の廃水処理システムの調査では、RRIV 側と共同で実施し、温室効果ガス放出量の評価方法を確立した。パイロットスケールリアクターの詳細に関する意見交換を RRIV と行い、プロセスを決定した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

なし。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

① 本年度発表総数 (国内 2 件, 国際 19 件, 国際 in press 7 件, 国際 first published online 1 件)

② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 5 件, 海外 35 件)

③ 論文詳細情報

Sakamoto Y, Ike M, Tanaka N, Suzuki Y, Ogasawara W, Okada H, Nonaka T, Morikawa Y, Nakamura KT. Crystallization and preliminary X-ray crystallographic studies of an exo-beta-D-glucosaminidase from *Trichoderma reesei*. Acta Crystallogr Sect F Struct Biol Cryst Commun. 66(3):309-312 (2010).

Takeda, H., Shimodaira, J., Yukawa, K., Hara, N., Kasai, D., Miyauchi, K., Masai, E., Fukuda, M., Dual two-component regulatory systems are involved in aromatic compound degradation in a polychlorinated-biphenyl degrader, *Rhodococcus jostii* RHA1. J. Bacteriol. 192(18):4741-4751 (2010).

Kasai, D., Kitajima, M., Fukuda, M., Masai, E., Transcriptional regulation of the terephthalate catabolism operon in *Comamonas* sp. strain E6, Appl. Environ. Microbiol. 76:6047-6055 (2010).

Okai, M., Kubota, K., Fukuda, M., Nagata, Y., Nagata, K., Tanokura, M., Crystal structure of γ -hexachlorocyclohexane dehydrochlorinase LinA from *Sphingobium japonicum* UT26, J. Mol. Biol., 403(2):260-269 (2010).

Kamimura, N., Aoyama, T., Yoshida, R., Takahashi, K., Kasai, D., Abe, T., Mase, K., Katayama, Y., Fukuda, M., Masai, E., Characterization of the protocatechuate 4,5-cleavage pathway operon in *Comamonas* sp. strain E6 and discovery of a novel pathway gene. Appl. Environ. Microbiol. 76(24):8093-8101 (2010).

Yamamoto, Y., Suksawad, P., Pukkate, N., Horimai, T., Wakisaka, O., Kawahara, S., Photoreactive nanomatrix structure formed by graft-copolymerization of 1,9-nonandiol dimethacrylate onto natural rubber, J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem., 48(11):2418-2424 (2010).

Saito, T., Klinklai, W., Yamamoto, Y., Kawahara, S., Isono, Y., Ohtake, Y., Quantitative analysis for reaction between epoxidized natural rubber and poly(L-lactide) through ¹H-NMR spectroscopy, J. Appl. Polym. Sci., 115(6):3598-3604 (2010).

熊倉真也, 佐藤浩太, 山下拓也, 幡本将史, Pairaya Kucivilize CHOEISAI, 珠坪一晃, 荒木信夫, 山崎慎一, 山口隆司, 2 槽式 UASB 反応槽と DHS 反応槽による高濃度硫酸塩含有天然ゴム製造廃液の連続処理, 環境工学研究論文集 47 巻, pp.579-584 (2010).

Kawahara, S., Chaikumpollert, O., Akabori, K., Yamamoto, Y., Morphology and properties of natural rubber with nanomatrix of non-rubber components, Polym. Adv. Technol., published online ASAP, article first published online: Dec 29 (2010).

Ohmori, T., Morita, H., Tanaka, M., Miyauchi, K., Kasai, D., Furukawa, K., Ogawa, N., Masai, E., Fukuda, M., Expression in *Escherichia coli* of biphenyl 2,3-dioxygenase genes from a gram-positive polychlorinated biphenyl degrader, *Rhodococcus jostii* RHA1, Biosci. Biotechnol. Biochem., 75(1):26–33 (2011).

Araki, N., Niikura, Y., Miyauchi, K., Kasai, D., Masai, E., Fukuda, M., Glucose-mediated transcriptional repression of PCB/biphenyl catabolic genes in *Rhodococcus jostii* RHA1. J. Mol. Microbiol. Biotechnol., 20(1):53–62 (2011).

Sukusawad, P., Yamamoto, Y., Kawahara, S., Preparation of thermoplastic elastomer from natural rubber from grafted with polystyrene, Eur. Polym. J., 47(3):330–337 (2011).

Ohmori, T., Morita, H., Tanaka, M., Miyauchi, K., Kasai, D., Furukawa, K., Miyashita, K., Ogawa, N., Masai, E., Fukuda, M., Development of a strain for efficient degradation of polychlorinated biphenyls by patchwork assembly of degradation pathways. J. Biosci. Bioeng., 111(4):437–442 (2011).

Araki, N., Suzuki, T., Miyauchi, K., Kasai, D., Masai, E., Fukuda, M., Identification and characterization of uptake systems for glucose and fructose in *Rhodococcus jostii* RHA1. J. Mol. Microbiol. Biotechnol., 20(3):125–136 (2011).

Neudeck C, Kim Y, Ogasawara W, Shida Y, Meldrum F, Walsh D. General route to functional metal oxide nanosuspensions, enzymatically deshelled nanoparticles, and their application in photocatalytic water splitting, Small, 7(7):869-873 (2011).

中村勉、大武義人、河原成元、坂上恭助、“給水中に含まれる残留塩素による合成ゴムの劣化に関する研究”，空気調和・衛生工学会論文集，171，41-48，(2011)。

五野上美緒、大武義人、河原成元，“PP 成形品の酸化防止剤流出挙動と劣化評価”，日ゴム協誌，84，176-181 (2011)。

Chaikumpollert, O., Sae-Heng, K., Wakisaka, O., Mase, A., Yamamoto, Y., Kawahara, S., “Low Temperature Degradation and Characterization of Natural Rubber” Polym. Degrad. Stabil., , 96, 1989–1995 (2011).

Saito, T., Yamamoto, Y., Kawahara S., Ohtake, Y., “ Characterization of Poly(1-methyl-1,4-butanediol-1,4-diyl/2,3,4-trihydro-5-methylfuran-2,5-diyl) Prepared from Natural Rubber through 2D NMR Spectroscopy”, J. Appl. Polym. Sci., 122, 3423–3429 (2011).

Nakamura, T., Chaikumpollert, O., Yamamoto, Y., Ohtake, Y., Kawahara, S., “Degradation of EPDM Seal Used for Water Supplying System”, Polym. Degrad. Stabil., 96, 1236–1241 (2011).

Suksawad, P., Kosugi, K., Yamamoto, Y., Akabori, K., Kuroda H., Kawahara, S., “Polymer Electrolyte

Membrane with Nanomatrix Channel Prepared by Sulfonation of Natural Rubber Grafted with Polystyrene”, J. Appl. Polym. Sci., 122, 2403–2414 (2011).

Suksawad, P., Kosugi, K., Kawahara, S., “ Morphology and Properties of Natural Rubber with Nanomatrix Structure”, Kautsch. Gummi Kunst., 64, 15–19 (2011).

Suksawad, P., Yamamoto, Y., Akabori, K., Kawahara, S., “ Sulfonation of Hydrogenated Natural Rubber Grafted with Polystyrene”, Kautsch. Gummi Kunst., 64, 17–21(2011).

Sukusawad, P., Yamamoto, Y., Kawahara, S., “Preparation of Thermoplastic Elastomer from Natural rubber from grafted with polystyrene”, Eur. Polym. J., 47, 330–337 (2011).

Nguyen, A. T. P., Sato, Y., Iwasaki, T., Miyauchi, K., Tokuda, M., Kasai, D., Masai, E., Fukuda, M. Characterization of the 1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethylene (DDE) degradation system in *Janibacter* sp. TYM3221. Enzyme Microb. Technol., 49(6–7), 532–539 (2011).

Nakamura, T., Yamamoto, Y., Ohtake, Y., Kawahara, S., “The Degradation Mechanism of EPDM Packing by Chlorine in City Water”, Kautsch. Gummi Kunst., 64, 27–30 (2011)

Chaikumpollert, O., Yamamoto, Y., Suchiva, K., Kawahara, S., “Protein-free Natural Rubber”, Colloid. Polym. Sci., 290, 331–338 (2012)

Imai S., Ichikawa K., Muramatsu Y., Kasai D., Masai E., Fukuda M.; Isolation and characterization of Streptomyces, Actinoplanes, and Methylibium strains that are involved in degradation of natural rubber and synthetic poly(cis-1,4-isoprene)., *Enzyme Microb. Technol.*, 49(6–7):526–31, 2011.

Nitta M., Shida Y., Okada H., Osumi M., Ogasawara W., Hyphal surface architecture and cell morphology of *Trichoderma reesei*. J. Electron Microsc., 61(3), 187–192 (2012)

Nakazawa H., Kawai T., Ida N., Shida Y., Kobayashi Y., Okada H., Tani S., Sumitani J., Kawaguchi T., Morikawa Y., Ogasawara W., Construction of a recombinant *Trichoderma reesei* strain expressing *Aspergillus aculeatus* β -glucosidase 1 for efficient biomass conversion. Biotechnol. Bioeng., 109(1):92–99 (2012)

Hall S. R., Collins A. M., Wood N. J., Ogasawara W., Morad M., Miedziak P. J., Sankar M., Knight D. W. and Hutchings G. J., Biotemplated synthesis of catalytic Au-Pd nanoparticles., RSC Adv., 2, 2217–2220 (2012)

Hall S.R., Hall C.F., Hansberry K., Wimbush S.C., Shida Y., Ogasawara W., High J_c in a biopolymer-mediated synthesis of YBa₂Cu₃O_{7- δ} Superconductor Science and Technology, 25(3), p35009/1–4 (2012)

Nitta M., Furukawa T., Shida Y., Mori K., Kuhara S., Morikawa Y., Ogasawara W., A new Zn(II)(2)Cys(6)-type transcription factor BglR regulates β -glucosidase expression in *Trichoderma reesei*. Fungal. Genet. Biol., 49, 388-397 (2012)

Shida Y., Yoshida R., Wakayama T., Yoshiro K., Yamaguchi T., Ogasawara W., Development of *Trichoderma reesei* Strain Specialized for Cello-oligosaccharides Production from Cellulose, Transaction on GIGAKU, 1, p01208/1-6 (2012)

Furukawa T., Kitagami N., Shida Y., Morikawa Y., Ogasawara W., Overexpression of ACEII, and transcriptional analysis of cellulase genes in *Trichoderma reesei* PC-3-7, Transaction on GIGAKU, 1, p01031/1-6 (2012)

Kawai T., Nakazawa H., Ida N., Okada H., Tani S., Sumitani J., Kawaguchi T., Ogasawara W., Morikawa Y., Kobayashi Y., Analysis of the saccharification capability of high-functional cellulase JN11 for various pretreated biomasses through a comparison with commercially available counterparts. J. Ind. Microbiol. Biotechnol., 39(12), 1741-1749 (2012)

Chaikumpollert, O., Yamamoto, Y., Suchiva, K., Nghia, P., T., Kawahara, S., Preparation and characterization of protein-free natural rubber, Polym. Adv. Technol., 23(4), 825-828 (2012).

角紀行, Suksawad Patjaree, 赤堀敬一, 山本祥正, 河原成元, 天然ゴムを原料とするプロトン伝導性高分子電解質の創製, 高分子論文集, 69, 228-234 (2012).

Kosugi K., Sutthangkul R., Chaikumpollert O., Yamamoto Y., Sakdapipanich J., Isono Y., Kawahara S., "Preparation and Characterization of Natural Rubber with Soft Nanomatrix Structure", Colloid. Polym. Sci., 290, 1457-1462 (2012).

Chaikumpollert O., Yamamoto Y., Suchiva K., Kawahara S., "Mechanical Properties and Crosslinking Structure of Crosslinked Natural Rubber", Polym. J., 44, 772-777 (2012).

Kado N., Suksawad P., Akabori K., Yamamoto Y., Kawahara S., "Fabrication of a completely continuous nanomatrix channel and its proton conductivity", Kautsch. Gummi Kunst., 65(7), 26-29 (2012).

五野上美緒, 中村勉, 山本祥正, 大武義人, 河原成元, "集束イオンビーム・走査型電子顕微鏡を用いたEPDMパッキンの劣化解析", 成型加工, 24, 335-340 (2012).

Chaikumpollert O., Yamamoto Y., Suchiva K., Nghia P.T., Kawahara S., "Preparation and characterization of protein-free natural rubber", Polym. Adv. Technol., 23, 825-828 (2012).

Chaikumpollert O., Yamamoto Y., Suchiva K., Kawahara S., "Protein-free Natural Rubber", Colloid.

Polym. Sci., 290, 331–338 (2012).

Amnuaypornsril S., Kawahara S., Toki S., Hsiao B.S., Hikosaka M., Sakdapipanich J., Tanaka Y., “Strain-induced crystallization of un-vulcanized natural rubber measured by synchrotron X-ray diffraction”, *Kautsch. Gummi Kunst.*, 65(6), 46–50 (2012).

Fukuda M., Kawahara S., Nghia P. T., “Establishment of carbon-cycle-system with natural rubber”, *Kautsch. Gummi Kunst.*, 65(6), 44–45 (2012).

Hatamoto, M., Nagai, H., Sato, K., Takahashi, M., Kawakami, S., Choiesai, P., K., Syutsubo, K., Ohashi, A., Yamaguchi, T., Rubber and methane recovery from deproteinized natural rubber wastewater by coagulation pre-treatment and anaerobic treatment, *Int. J. Environ. Res.*, 6 (3), 577 - 584 (2012).

Tanikawa, D., Yamashita, T., Hatamoto, M., Fukuda, M., Takahashi, M., Syutsubo, K., Choeisai, P. K., Yamaguchi, T., Development of an appropriate treatment process for wastewater from natural rubber processing factory, *Transactions on GIGAKU*, 1, 01010/1–8 (2012).

Shimodaira, J., Furusawa, Y., Miyazawa, Y., Kasai, D., Miyauchi, K., Masai, E., Fukuda, M. The 24-bp consensus sequence responsible for regulation of the BphS1T1 two-component system in a hybrid promoter. *J. Biosci. Bioeng.*, 113(3), 279–285 (2012).

Iino, T., Wang, Y., Miyauchi, K., Kasai, D., Masai, E., Fujii, T., Ogawa, N., Fukuda, M. Specific gene responses of *Rhodococcus jostii* RHA1 during growth in soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 78(19), 6954–6962 (2012).

Trang, B.T., Linh, D.V., Huong, N.L., Anh, T.K., Nghia, P.T., Fukuda, M., “Screening of natural rubber degrading microorganisms from waste of rubber processing factory in Vietnam”, *Int. J. Waste Resources*, 3(1):9–12 (2013)

Saito, T., Kawahara, S., Ohtake, Y., “Assingment of NMR signals for chloroprene rubber by 2D NMR spectroscopy”, *Rubber Chem. Technol.*, in press.

Chaikumpollert O., Wakisaka O., Mase A., Yamamoto Y., Suchiva K., Kawahara S., “Effect of Decelerated Fermentation on Morphology and Mechanical Properties of Natural Rubber Latex”, *Rubber Chem. Technol.*, in press.

Iino, T., Miyauchi, K., Kasai, D., Masai, E., Fukuda, M. Characterization of nitrite utilization system in *Rhodococcus jostii* RHA1. *J. Biosci. Bioeng.*, in press (2013).

Nguyen, A. T. P., Trinh T. T. H., Fukumitsu, Y., Shimodaira, J., Miyauchi, K., Tokuda, M., Kasai, D., Masai, E.,

Fukuda, M. Gene cluster and regulation system for 1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethylene (DDE) degradation in *Janibacter* sp. TYM3221. J. Biosci. Bioeng., in press (2013).

Imai S, Yoshida R, Endo Y, Fukunaga Y, Yamazoe A, Kasai D, Masai E, Fukuda M. *Rhizobacter gummiphilus* sp. nov., a rubber-degrading bacterium isolated from the soil of a botanical garden in Japan. J. Gen. Appl. Microbiol., in press (2013).

Porciuncula J.D., Furukawa T., Shida Y., Mori K, Kuhara S., Morikawa Y, Ogasawara W. Identification of major facilitator transporters involved in cellulase production during lactose culture of *Trichoderma reesei* PC-3-7, Biosci. Biotechnol. Biochem., In press (2013)

Maehara T., Ichinose H., Furukawa T., Ogasawara W, Takabatake K., Kaneko K., Ethanol production from high cellulose concentration by the basidiomycete fungus *Flammulina velutipes*, Fungal Biology, In press (2013)

Porciuncula J.D., Furukawa T., Mori K., Shida Y., Hirakawa H., Tashiro K., Kuhara S., Nakagawa S., Morikawa Y., Ogasawara W., Single Nucleotide Polymorphism Analysis of a *Trichoderma reesei* Hyper-Cellulolytic Mutant Developed in Japan., Biosci. Biotechnol. Biochem., [Epub ahead of print] (2013)

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件, 海外 0 件, 特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件, 海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 「新規天然ゴム評価法の開発」グループ

- ① 研究グループリーダー名: 河原 成元 (国立大学法人 長岡技術科学大学・准教授)
- ② 研究項目: 天然ゴムの末端構造の解析技術を確立し、工業原料として品質を合理的に等級化できる新規天然ゴム評価法を開発する。また、天然ゴムの末端基の構造と力学物性の関係、および、この関係に基づく天然ゴムの評価法と規格を作製する

(2) 「高性能ゴムの開発」グループ

- ① 研究グループリーダー名: 河原 成元 (国立大学法人 長岡技術科学大学・准教授)
- ② 研究項目: 天然ゴムの精製技術を改良し、ベトナムに実装する高度精製技術を確立する。窒素含有率が 0.01w/w%の脱蛋白質化天然ゴムを 1 日 1.5 トン生産するプラントを製造する

(3) 「新規高機能ポリマーの開発」グループ

- ① 研究グループリーダー名: 山本 祥正 (国立高等専門学校機構 東京工業高等専門学校・講師)
- ② 研究項目: ナトマトリックス構造を有する高性能ゴムをスルホン化することによりスルホン基を有する天然ゴムを作製する。スルホン基は、H⁺の輸送が可能であるため、燃料電池用電解質等を開発する

(4) 「ゴム廃木からの次世代バイオ燃料生産技術の開発」グループ

①研究グループリーダー名： 小笠原 渉（国立大学法人 長岡技術科学大学・准教授）

②研究項目： パラゴム樹の廃木に適した破砕法、分解微生物、分解酵素を選抜・改良し、効率的に次世代バイオ燃料を生産する技術を開発する

(5) 「資源回収型廃水処理技術の開発」グループ

①研究グループリーダー名： 山口 隆司（国立大学法人 長岡技術科学大学・教授）

②研究項目： ゴム製造・加工廃水からのゴム資源回収・ゴム残渣液分解処理を含む廃水処理技術の開発を行い、ゴムやメタンの回収率の向上により高度資源回収型廃水処理技術を確立する

以上