

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：37401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05428

研究課題名(和文) 無細胞翻訳系を用いた天然ゴム生合成酵素複合体の再構築手法の開発

研究課題名(英文) Production of natural rubber in vitro from reconstituted-rubber synthase complex on rubber particles with Escherichia coli cell-free translation system

研究代表者

小島 幸治 (Kojima, Kouji)

崇城大学・生物生命学部・准教授

研究者番号：80457382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：天然ゴムはイソプレンの重合体であり、生合成はパラゴムノキのラテックスに存在するゴム粒子上で行われると考えられており、現在までにゴム粒子上のタンパク質因子を同定し、それぞれの役割の解明がなされてきた。その過程において、小麦胚芽由来の無細胞翻訳系を用い、シスプレニルトランスフェラーゼを含む因子をゴム粒子上に適切に組み込むことにより、分子量百万のポリマー合成活性をもつタンパク質複合体を再構築することに成功した(山下ら2016)。本研究では、天然ゴム合成酵素複合体の合成およびゴム粒子上への再構成には、真核生物由来の特別な因子に依存せずに、原核生物の無細胞翻訳系を用いても可能であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

天然ゴム生合成の機構の理解がさらに深まれば、今後高品質で高生産な天然ゴムの人工的な合成手法が確立できることが期待できる。また、合成酵素の合成や再構築には、複雑な因子の関与を必要としないことも考慮し、大腸菌などの原核生物の無細胞翻訳系を用いれば、安価な天然ゴム合成系の開発が可能になる。天然ゴム合成や複合体構築に関して、各因子の相互作用の重要性と合成活性のとの相関の解明から、今回実現が不可能であった複合体の単離や立体構造の解明に向けて一歩ずつ近づくことが可能になってきた。このように、本研究で得られる天然ゴム合成機構に関する理解は、学術(工学系、農学系)や産業へと幅広く応用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Natural rubber is a polymer of isoprene, and its biosynthesis has been thought to take place on rubber particles in the latex of *Hevea brasiliensis*. We have identified protein factors on the rubber particle and elucidated their roles. In the process, we have successfully reconstituted a protein complex containing cis-prenyl transferase on rubber particles using a cell-free translation system derived from wheat germ, which allowed us to produce polyisoprene in vitro with a molecular weight of 1,000,000 (Yamashita et al. al. 2016). In this study, we found that the prokaryotic cell-free translation system can be used to synthesize natural rubber synthase complexes and reconstitute them on rubber particles without relying on special factors derived from eukaryotic organisms.

研究分野：機能生物科学

キーワード：天然ゴム 無細胞翻訳系 パラゴムノキ ゴム粒子 大腸菌 イソプレノイド ラテックス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1-1) 天然ゴムについて

産業用に利用されるゴムは大きく分けて、植物由来の天然ゴムと石油由来の合成ゴムの2種類がある。様々な構造・機能を持つ合成ゴムが開発された現在においても、天然ゴムは弾性や耐摩耗性などの機械的特性が優れていることから、タイヤなどのゴム工業製品に欠くことのできない天然材料となっている。天然ゴムは、炭素数5のイソペンテニルニリン酸(IPP)の重合体であり、基本骨格構造は*cis*-1,4-ポリイソプレンで、分子量は $10^6$ 以上に及ぶ(図1)。これまでに農学的手法によって天然ゴムの原料となるパラゴムノキの品種改良や収穫方法の改良が行われ、増産が進められてきた。しかしながら、近年の遺伝子工学的手法が急速に発達しているにもかかわらず、この手法による天然ゴムの飛躍的な増産は行われていなかった。

#### (1-2) 天然ゴム生合成機構の解明に向けた研究成果

天然ゴム生合成の酵素反応は、ゴム粒子(RP)上で行われる。このゴム粒子は、天然ゴムを産出するパラゴムノキから採取された乳液状の樹液(ラテックス)中に存在し、天然ゴムを核とした脂質-重膜が周囲を覆う構造を形成している(図1)。重合反応は*cis*型プレニル鎖延長酵素(cPT)と総称される酵素により触媒される。共同研究者らは、ゴム粒子のプロテオミクス解析を行い、触媒本体の「HRT1/HRT2」、HRT1の膜上で安定化に寄与し触媒活性を持たない「HRT1-REF bridging protein (HRBP)」、ゴム粒子の安定化を担う「REF」を同定した。さらに、コムギ胚芽由来の無細胞翻訳系を用いて、同定した各タンパク質をゴム粒子上に再構成させ、その産物からゴム合成活性を検出することに成功し、HRT1-HRBP-REFの三者とSmall RP protein (SRPP)なども結合した状態で形成された天然ゴム生合成酵素複合体の分子モデルを提唱した(図1、山下ら 2016)。この研究成果は、今まで不明なままであった天然ゴム生合成機構の一端を明らかにするものであった。

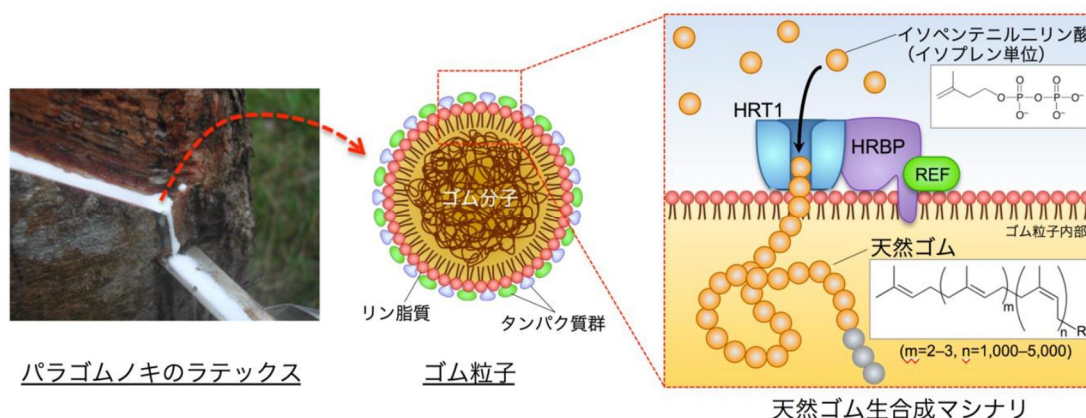


図1 ゴム粒子上の天然ゴム生合成マシナリの発見と再構成の模式図(山下ら 2016)

### 2. 研究の目的

共同研究者らが提唱した天然ゴム合成酵素複合体の分子モデル(図1、山下ら 2016)の検証や、ゴム粒子上における酵素複合体の構築に至る過程の分子機構解明を目的として実験を開始した。まず、複合体形成の過程を確かめるために、タンパク質合成系が単純であり、翻訳条件について検討を行うための遺伝子組換えが容易な大腸菌の無細胞翻訳系で再構築実験を始めた。また、ゴム合成に関与するゴム粒子の役割や複合体形成タンパク間の相互作用の重要性について確かめることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (3-1) 大腸菌無細胞翻訳系による天然ゴム合成関連タンパク質の再構成

大腸菌で無細胞翻訳系を調製し、天然ゴム合成関連タンパク質複合体の再構成のための最適化を目指した。実験室で操作可能な大腸菌培養スケールを見積もり、培養からリボソーム画分回収までの実験操作を確認した。真核型翻訳装置で構成されるコムギ胚芽無細胞翻訳系による再構築の解析手法と同様に、パラゴムノキのラテックスから調製したゴム粒子を大腸菌翻訳系に添加した。タンパク質合成後の産物が組み込まれる場をゴム粒子の添加により設ければ、天然ゴム合成酵素複合体が再構築できることを期待し、この産物から天然ゴム合成活性が検出されるかを確かめた。実験の過程においてゴム粒子と当初用いた大腸菌の翻訳系の緩衝液に対する相性が悪いことが判明したので、緩衝液の薬剤(トリス系、Hepes系)の検討および界面活性剤(電荷有、無)添加の検討を行った。このように、リボソーム画分の調製法と、翻訳反応については上記の検討項目の中から最適化して行った。

### (3-2) パラゴムノキのラテックス分画の検討

天然ゴム合成酵素の再構築には、ゴム粒子の状態やその状態の安定性が重要であることが分かってきた。毎年、タイのゴム園(パラゴムノキの生育地)に対して、栽培地の収穫時期となる雨期の前後に合わせ、樹木からラテックス採取の依頼を行った。また、採取方法(回収籠に氷をいれて低い温度に保つ)、輸送器具(ガラス器具、金属製器具)、解凍方法(流水解凍、再凍結を避ける)、分画方法の条件(半日の作業で終わらせる)を検討し、効率の良い分画産物の回収手順の習得に努めた。

パラゴムノキの樹液に含まれるラテックスからゴム粒子(ラテックスの50,000~80,000 xgの超遠心分離で得られた上清)を調製した。まず、ゴム粒子の表層に結合しているタンパク質夾雑物を界面活性剤を用いて洗浄し、洗浄ゴム粒子に無細胞翻訳系を用いてHRT1, HRBP, REFの合成と膜への組み込みを行った。この再構築した複合体によるcis型プレニル鎖延長酵素(cPT)の一つであるHRT1の酵素活性については、プライマー基質のFPPに対する<sup>14</sup>C-IPPの取り込みによりポリマー合成活性を測定し、ゲルろ過(GPC)解析により産物の鎖長測定を行った。また、HRT1と共にゴム合成酵素複合体を構成する因子を共翻訳したときの再構築の効率やHRT1のcPT活性に与える影響を調べた。

### (3-3) HRT1のcDNA配列の最適化

植物用のコドンから原核生物(大腸菌)用に変換したHRT1のcDNAを合成したが、研究開始時の配列にはエラーが存在し、cPT酵素における非保存領域にアミノ酸置換が存在していた。その後、パラゴムノキの各因子をコードする遺伝子を再クローニングし、コドンが大腸菌用に最適化した。cDNAにエラーのあったHRT1のcPT活性(研究開始1年目)とcDNA配列を適切に修正したHRT1のcPT活性(3年目以降)で得られた結果を比較し、配列の改変についてcPT活性には問題が無いことを確認した。

### (3-4) タバコ培養細胞を用いた細胞内における分子間相互作用と細胞内局在の確認

所属研究室における酵母two-hybridアッセイの結果から、各因子(HRT1, HRBP, REF)間の相互作用に必要なアミノ酸配列の候補が得られている。また、パラゴムノキの天然ゴム合成酵素遺伝子(HRT1, HRBP, REF遺伝子)に蛍光タンパク質を融合したコンストラクトを導入したタバコ培養細胞の各株は、すでに構築済みである。これらの株を培養し、蛍光顕微鏡観察で細胞内を観察することにより、推定されたタンパク質相互作用領域が複合体の形成と細胞内局在に寄与するか確かめた。

### (3-5) 分子間相互作用とゴム合成活性との相関

3-4の結果を受けて、天然ゴム合成酵素関連タンパク質(HRT1-REF-HRBP)の相互作用がゴム合成酵素(複合体)の活性化に寄与するか確かめた。ゴム粒子上に小麦胚芽無細胞翻訳系で再構築した天然ゴム合成酵素複合体のゴム伸長活性を確かめた。HRT1の活性については、共同に必要とされたHRBPのN領域とHRT1の共発現がゴム粒子への組み込みおよびゴム合成活性に影響を与えるか調べた。IPP取り込み活性、鎖長についてはGPCで解析した。

### (3-6) ゴム粒子上およびゴム分子に結合して存在するタンパク質の探索

ゴム粒子(ラテックス画分)をトルエンヘキサソール混合溶液で処理し、水溶性成分を除去した。ガラス製の板に滴下、乾燥させることによりゴム分子を析出させ回収した。トリプシン処理したペプチドをLC-MS/MS解析を行い、パラゴムノキのゲノム情報を参照してゴム分子に対して結合するタンパク質を同定した。

## 4. 研究の成果

### (4-1) 大腸菌無細胞翻訳系による天然ゴム合成関連タンパク質の再構成

#### 天然ゴム合成酵素複合体の合成量と安定化の向上:

大腸菌無細胞翻訳系を用いて、天然ゴム合成酵素の再構成実験を行った。大腸菌系について、より安定した高い活性が得られる条件が得られるようにラテックスから得られるゴム粒子の分画作業を数度繰り返した。初年度では、「S30画分を調製するバッファーの検討」や「翻訳反応液に対する界面活性剤の添加」がゴム粒子の安定化の向上に有効であることがわかった。これらの条件検討の結果、パラゴムノキの天然ゴム分子の合成活性をもつ酵素複合体(HRT1-REF-HRBP)の再構成は、原核型の翻訳装置で構成される大腸菌無細胞翻訳系を用いても可能であり、真核生物由来の特別な因子を必要としないことがわかった。また、これらの結果を小麦胚芽の実験系から得られた結果と比較したところ、タンパク質の合成量は低い、タンパク質当たりのゴム合成活性は十分得られていると評価するに至った。

#### 合成酵素の再構築におけるゴム粒子の役割:

大腸菌の実験系を用いると、無細胞翻訳されたHRT1の一部がゴム粒子に組み込まれずに超遠心分離後の可溶性画分に回収された。ゴム粒子に組み込まれず、フリーの状態が存在するHRT1は天然ゴムサイズの長鎖のポリイソプレンを合成できないことがわかり、あらためて長鎖のポリマー合成にはゴム粒子上にHRT1が適切に組み込まれることが必要で、HRT1とHRBP, REFの共発現はゴム粒子への組み込み効率を向上させることがわかった。

#### ラテックスの採取法の改善:

パラゴムノキのラテックスから調製されたゴム粒子の状態が再構成実験に大きな影響を及ぼすことがわかってきた。ゴム粒子の原材料のパラゴムノキのラテックスの状態は採取時期によって変化し、それに伴ってゴム粒子の不安定化の要因となる「凝集」の発生頻度も変化すること

がわかってきた。この性質の影響を受け、ゴム合成活性を安定して得られない時期（雨期の間）があり、実験計画が停滞した時期があった。そこで、安定したゴム粒子の確保が今後の実験計画を進めるために重要であると考えた。ラテックス採取時期（雨期以外）について焦点を絞り、採取一週間の降水量と日照時間を記録し、検討を行ったが大きな改善は得られなかった。回収後の保存、輸送、研究室での分画条件を見直すことにより、ゴム粒子単体で得られるゴム合成活性および洗浄後のゴム粒子に導入した HRT1 の cPT 活性について、亢進効果や安定性が得られるように改善することができた。

本研究成果については、「Reconstruction of natural rubber synthase on rubber particles from *Hevea brasiliensis* by using *in vitro* translation prepared from *Escherichia coli*」というタイトルにて論文を作成し、投稿に向けた準備を行っている。

#### （4-2）天然ゴム合成関連酵素間の相互作用とその役割

天然ゴム合成酵素複合体の再構築について、これまでの小麦胚芽系無細胞翻訳系の実験系や、本研究における大腸菌の実験系においても HRT1-REF-HRBP の共発現が安定した活性を示すことを明らかにしてきた（山下ら 2016）。

研究代表者が所属する研究室において、3つの関連因子（HRT1 と HRBP, REF）の分子間相互作用に關する部位のアミノ酸配列が酵母 two-hybrid アッセイ法により確かめられており、さらには、タンパク質の立体構造予測の結果から相互作用部位が推定されている。これらの結果を受けて、タバコ培養細胞内における HRT1-HRBP, HRT1-REF, HRT1-HRBP-REF 共発現実験を行った。3 因子の細胞内局在は小胞体またはゴルジ体であり、それぞれの存在が共局在する確率を高めていることを見いだした。小胞体やゴルジ体は、ゴム粒子と同様な脂質一重層の膜を有する。したがって、脂質一重層の膜への組み込みと HRT1-HRBP-REF 複合体形成がタンパク質合成と共役して進行する可能性が示唆された。

さらに、各因子の相互作用と合成酵素の機能相関を明らかにする実験を行った。HRT1 に、HRBP に存在する HRT1 相互作用部位を無細胞翻訳で共発現し、ゴム粒子上に再構成させた。ゴム合成活性を調べた結果、HRBP 全長の共発現の結果と同等の合成活性を示した。研究成果 4-1 の結果からも支持されるように、天然ゴム合成活性には HRT1 のゴム粒子膜への組み込みが必要であり、HRT1 のパートナータンパク質（HRBP および REF）が安定したゴム粒子への組み込みをサポートし、酵素を活性化させる役割を果たしていることが分かった。本研究成果については、日本台湾二国間合同国際植物学会にて口頭発表（小島ら 2019）を行い、Japan-Taiwan Plant Biology 2019 Presentation Award を受賞した。

#### （4-3）ゴム粒子上およびゴム分子に結合して存在するタンパク質の探索

HRT1 とそのパートナータンパク質の相互作用と部位について、原核型および真核型の無細胞翻訳系を用いても、ゴム合成酵素の再構成実験が可能であり、生成された酵素複合体には天然ゴムサイズのポリマー合成活性をもつことが示された（研究成果 4-1）。この結果に加えて、ゴム粒子は、天然ゴムサイズの鎖長に合成する役割に加え、産物（ゴム分子）を安定に格納するために重要な役割を果たしている可能性が考えられた。そこで、ゴム分子の格納をサポートする役割を果たす因子が存在し、ゴム分子に共有結合して存在しているのではないかと考え、ゴム分子に結合（共有結合型または非共有結合型）するタンパク質の探索を目的として実験を行った。ガラス板上でゴム粒子のトルエンヘキサン抽出液からゴム分子を析出させることにより回収した。トリプシン処理後に LC-MS/MS 解析を行い、HRT1 や HRBP, REF、その他未知のタンパク質が検出された。その結果から、ゴム分子に対して結合して親和性が高いタンパク質が多く存在することが示唆された。続いて、さらに強い結合、すなわち共有結合でゴム分子と結合しているタンパク質の同定を試みた。尿素処理で非共有結合の物質をゴム分子から除去した結果、産物からペプチドは検出されなかった。このように、ゴム分子に対するタンパク質の結合は、非共有結合であり、共有結合しているタンパク質を見いだすことができなかった。今後は、他のアプローチによりゴム合成の安定化に関わる仕組みを明らかにする必要があることから引き続き解析を行っていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kojima Kouji, Matsumoto Ui, Keta Sumie, Nakahigashi Kenji, Ikeda Kazutaka, Takatani Nobuyuki, Omata Tatsuo, Aichi Makiko	4. 巻 63
2. 論文標題 High-Light-Induced Stress Activates Lipid Deacylation at the Sn-2 Position in the Cyanobacterium <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 82-91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/pcp/pcab147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Taku Matsumoto, Kouji Kojima, Noriaki Saigusa, Yuji Teramoto	4. 巻 10
2. 論文標題 Irradiation of sound waves to <i>Aspergillus kawachii</i> and the characterization of enzyme activities in rice-koji.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Biomass & Renewables	6. 最初と最後の頁 18-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小島幸治	4. 巻 228
2. 論文標題 食品におけるイソプレノイド化合物の役割	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BIO九州	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kojima Kouji, Tamura Junya, Chiba Hiroto, Fukada Kanae, Tsukaya Hirokazu, Horiguchi Gorou	4. 巻 8
2. 論文標題 Two Nucleolar Proteins, GDP1 and OLI2, Function As Ribosome Biogenesis Factors and Are Preferentially Involved in Promotion of Leaf Cell Proliferation without Strongly Affecting Leaf Adaxial-Abaxial Patterning in <i>Arabidopsis thaliana</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 2240
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpls.2017.02240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nakata T. Miyuki, Sato Mayuko, Wakazaki Mayumi, Sato Nozomi, Kojima Kouji, Sekine Akihiko, Nakamura Shiori, Shikanai Toshiharu, Toyooka Kiminori, Tsukaya Hirokazu, Horiguchi Gorou	4. 巻 7
2. 論文標題 Plastid translation is essential for lateral root stem cell patterning in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biology Open	6. 最初と最後の頁 28175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/bio.028175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計12件(うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 三輪 幸祐、廣森 美樹、青木 裕一、和氣 駿之、小島 幸治、山下 哲、山口 晴彦、宮城 ゆき乃、戸澤 謙、中山 亨、高橋 征司
2. 発表標題 サボジラ (Manilkara zapota) 由来 trans型プレニルトランスフェラーゼの酵素機能解析
3. 学会等名 第31回イソプレノイド研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本 拓、池田 葵、河口 由季、小島 幸治、三枝 敬明、寺本 祐司
2. 発表標題 Aspergillus属の分生子に対する音波照射と米麹の酵素活性への影響
3. 学会等名 日本農芸化学会 2021年度西日本・中四国・関西支部 合同大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本 拓、小島 幸治、三枝 敬明、寺本 祐司
2. 発表標題 Aspergillus oryzae RIB40株で製麹した米麹のグルコアミラーゼ活性に及ぼす音波照射の影響
3. 学会等名 日本農芸化学会 2021年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三輪 幸祐、廣森 美樹、青木 裕一、和氣 駿之、小島 幸治、山下 哲、山口 晴彦、宮城 ゆき乃、戸澤 謙、中山 亨、高橋 征司
2. 発表標題 サボジラ (Manilkara zapota) 由来trans型ポリイソプレノイド 生合成酵素のクローニングと機能解析
3. 学会等名 第30回 イソプレノイド研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島 幸治、山口 真琴、廣森 美樹、和氣 駿之、山下 哲、戸澤 謙、山口 晴彦、宮城 ゆき乃、伏原 和久、中山 亨、高橋 征司
2. 発表標題 パラゴムノキの天然ゴム生合成関連タンパク質の機能解析
3. 学会等名 第2回天然ゴム研究会 (理研、鶴見)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoki Ishii, Miki Suenaga-Hiromiri, Satoshi Yamashita, Fumihiro Yanbe, Toshiyuki Waki, Kouji Kojima, Haruhiko Yamaguchi, Yukino Miyagi-Inoue, Kazuhisa Fushihara, Yuzuru Tozawa, Toru Nakayama, Seiji Takahashi
2. 発表標題 In vitro natural rubber biosynthesis by prenyltransferases introduced on rubber particles from Hevea brasiliensis
3. 学会等名 23th International Symposium on Plant Lipids (ISPL2018)、Osanbashi-Hall, Yokohama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kouji Kojima, Miki Suenaga-Hiromori, Satoshi Yamashita, Yuzuru Tozawa, Haruhiko Yamaguchi, Yukino Miyagi-Inoue, Kazuhisa Fushihara, Toru Nakayama, Seiji Takahashi
2. 発表標題 Production of natural rubber in vitro from reconstituted-rubber synthase complex on rubber particles with Escherichia coli cell-free translation system
3. 学会等名 23th International Symposium on Plant Lipids (ISPL2018)、Osanbashi-Hall, Yokohama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Kouji Kojima, Makoto Yamaguchi, Tomoki Ishii, Miki Suenaga-Hiromori, Toshiyuki Waki, Satoshi Yamashita, Yuzuru Tozawa, Haruhiko Yamaguchi, Yukino Miyagi-Inoue, Kazuhisa Fushihara, Toru Nakayama, Seiji Takahashi
2. 発表標題 Interaction and its functional correlation of factors constituting the biosynthetic machinery of natural rubber from <i>Hevea brasiliensis</i>
3. 学会等名 Japan-Taiwan Plant Biology 2019 (JTPB2019)、Nagoya Univ. Nagoya, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 智樹, 末永 美樹, 山下 哲, 山家 史大, 和氣 駿之, 小島 幸治, 山口 晴彦, 井之上 ゆき乃, 伏原 和久, 中山 亨, 高橋 征司
2. 発表標題 天然ゴム生合成機構におけるゴム粒子の重要性
3. 学会等名 農芸化学会2018年度名古屋大会 (名城大学、名古屋)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島 幸治, 山下 哲, 戸澤 謙, 山口 晴彦, 井之上 ゆき乃, 伏原 和久, 中山 亨, 高橋 征司
2. 発表標題 大腸菌無細胞翻訳系を用いた天然ゴム合成酵素の再構成
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会 (札幌コンベンションセンター、札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島 幸治, 廣森 美樹, 山家 史大, 石井 智樹, 和氣 駿之, 山下 哲, 戸澤 謙, 山口 晴彦, 井之上 ゆき乃, 伏原 和久, 中山 亨, 高橋 征司
2. 発表標題 パラゴムノキの天然ゴム合成反応におけるゴム粒子の役割
3. 学会等名 日本農芸化学会 東北・北海道支部合同大会 (東北支部第153回大会、東北大学、仙台)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 小島 幸治、山口 真琴、石井 智樹、廣森 美樹、和氣 駿之、山下 哲、戸澤 讓、山口 春彦、井之上 ゆき乃、伏原 和久、中山 亨、高橋 征司
2. 発表標題 パラゴムノキの天然ゴム生合成マシナリを構成する因子の相互作用と機能相関
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会（名古屋大学、名古屋）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------