

令和元年6月26日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02560

研究課題名(和文) リグニン認識機能を賦与した人工酵素触媒の合成によるバイオマス分解新戦略

研究課題名(英文) Novel strategy for biomass degradation by artificial enzyme catalysts having lignin-recognizing function

研究代表者

渡邊 隆司 (Takashi, Watanabe)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：80201200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、リグニン親和性ポリペプチド鎖によるリグニン分解酵素の機能強化やマイクロ波増感ナノ粒子触媒の合成を研究した。リグニン親和性12merペプチドの二量体化により親和性が1桁上昇し、リグニンへの吸着によるペプチドのコンフォーメーション変化を明らかにした。糸状菌由来のセルラーゼの糖質結合モジュール(CBM)を安定同位体でラベルし、NMRによりリグニンとの結合サイトを初めて包括的に解析した。このCBMを担子菌ヒラタケの多機能型ペルオキシダーゼに結合した融合タンパクを発現する形質転換体を作成し、腐朽特性を解析した。また、リグニンモデルの酸化能をもつマイクロ波増感磁性金属ナノ粒子触媒を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多糖を被覆するリグニンの高選択的分解は、木質バイオマス変換の鍵である。リグニン親和性ポリペプチド鎖をリグニン分解酵素や合成触媒に組み込む方法を開発し、その効果を明らかにすることにより、リグニン近傍へ酵素や人工触媒をデリバリーしてリグニンの分解性を高める分野が開拓される。融合酵素を白色腐朽菌で発現すると、リグニン分解強化株が育種される。また、リグニン親和性ペプチドをマイクロ波増感金属ナノ粒子触媒に結合させると、電磁波エネルギーの利用効率の高いリグニン分解触媒が合成される。本研究では、リグニン結合性ポリペプチド鎖を触媒の輸送ツールとして用いる新分野を創成し、バイオリファイナリーに貢献する。

研究成果の概要(英文)：By using lignin-binding polypeptides, we improved functions of lignin-degrading enzymes and we synthesized microwave-sensitive nanoparticle catalysts. Dimerization of 12-mer lignin-binding peptide increased affinity to lignin by 10 times, and adsorption to the lignin changed conformation of the peptides. Carbohydrate-binding module (CBM) from filamentous fungus was labelled with stable isotope and the binding site with lignin was analyzed for the first time. Transformant of the basidiomycete, *Pleurotus ostreatus* secreting a mutant enzyme from a versatile peroxidase and the lignin-binding peptide was developed, and profile of wood degradation by the fungus was analyzed. Magnetic nanoparticle metal catalysts having microwave sensitizer effects were developed.

研究分野：バイオマス変換

キーワード：リグニン バイオマス バイオリファイナリー リグニン分解酵素 糖質結合モジュール セルラーゼ
金属ナノ粒子 酸化触媒

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多糖を被覆するリグニンの高選択的分解は、木質バイオマス変換の鍵である。多くの糖質分解酵素は、触媒ドメイン、リンカー、糖質結合モジュール(CBM)を含む構造をもつが、多くのセルラーゼの糖質結合モジュール(CBM)は、リグニンに強く結合して活性が阻害される。また、セルラーゼのリグニンへの吸着は、タンパク質構造のみならず、リグニン構造の影響を受ける。しかながら、これまで、セルラーゼのリグニンとの相互作用は、分子レベルでは明らかにされていなかった。また、CBM をリグニンへの結合モジュールとしてリグニン分解酵素の活性を増強する研究もなかった。一方、我々はリグニン親和性の 12mer ペプチドをファージディスプレイ法で見出し、その構造やリグニンへの吸着特性を明らかにしてきた。リグニン親和性ペプチドを、リグニン分解酵素や触媒に結合させることにより、リグニンの分解活性が高まることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、リグニン親和性ポリペプチド鎖 (CBM、リグニン親和性ペプチド) をリグニン分解酵素や合成触媒に組み込む方法を開発し、その効果を明らかにすることにより、リグニン近傍へ酵素や人工触媒をデリバリーしてリグニンの分解性を高める分野が開拓することを目的とした。このため、リグニン親和性ポリペプチド鎖とリグニンの相互作用を分子レベルで明らかにすることを目的とした。次に、リグニン分解力の高いリグニン分解酵素にリグニン親和性モジュール(BM)を結合させた組換え酵素を担子菌で発現して高活性リグニン分解酵素を作出し、リグニン親和性の制御による木材腐朽能の強化を行う。また、本研究では、マイクロ波感受性のリグニン分解力をもつ磁性金属ナノ粒子を開発し、これにリグニン親和性ペプチドを結合させた人工酵素触媒の開発を行うことを目的とする。本触媒は、木材細胞壁内に浸透できるナノサイズである点、マイクロ波を優先的に吸収する点、リグニン親和性をもつ点が特徴であり、触媒と基質の親和性制御や触媒の電磁波吸収能を利用した高効率リグニン分解反応系を構築する。

3. 研究の方法

1) リグニン親和性ポリペプチドの発現と親和性解析

糸状菌 *Trichoderma reesei* の CBM (*TrCBM1*) を ^{15}N ラベル体として発現・精製し、NMR によりリグニンとの相互作用を解析した。His-*TrCBM1*-GFP 発現プラスミドを用いて LB 寒天培地上で *E. coli* BL21(DE3) 株を形質転換し、生じたコロニーを NH_3Cl (^{15}N , 99%) を含んだ M9 培地に植菌し、培養後に IPTG により発現誘導した。菌体は回収後に超音波破砕し、上清を Ni アフィニティークロマトグラフィーおよび陰イオン交換クロマトグラフィーに供し、タンパクを精製した。エンテロキナーゼで His タグ部位を、Thrombin で GFP 部位を切断することで ^{15}N ラベル化した *TrCBM1* を取得した。取得したタンパクの分子量を MALDI-TOF-MS で確認し、NMR により正常フォールディングとアンフォールディングを識別して、正常フォールディングした *TrCBM1* をリグニンとの相互作用解析に使用した。滴定剤の濃度変化によるケミカルシフトの変化量やシグナル強度の変化を測定した。滴定剤は、スギおよびユーカリリグニン (MWL) とセロヘキサオースを使用した。

スギおよびユーカリリグニン (MWL) をリグニン親和性ペプチド C416 およびそのタンデムダイマーと混合し、ATR-FT-IR の測定により得られたスペクトルを二次微分し、リグニン添加によるペプチドの構造変化を解析した。また、スギおよびユーカリリグニン (MWL) を C416 のタンデムダイマーを白色腐朽菌カワラタケ由来のリグニン分解酵素ラッカーゼの N 末と C 末に連結した融合酵素を *Pichia pastoris* で発現し、メディエーター ABTS の存在下、および非存在下で微粉碎木材との反応した後、反応物をチオアシドリシスおよび GPC で解析した。

2) リグニン親和性ポリペプチド融合リグニン分解酵素の担子菌での発現

Phanerochaete chrysosporium における主要 LiP アイソザイム遺伝子 *lip A* (H8) および *lip E* の C 末端部分に *TrCBM1* のリンカーおよび CBM 領域に相当する塩基配列を結合させた組換え遺伝子をヒラタケに導入した。CBM における平面認識部位として重要な Y5、Y31、Y32 に変異を加えた変異 CBM を持つ組換え遺伝子 (Y5WY31W および Y5WY31F) も作成し、ヒラタケ #261 株の形質転換実験を行った。遺伝子導入ヒラタケを培養し、培養上清から PA タグビーズによるタンパク質の精製を試みた。

ヒラタケの主要リグニン分解酵素である多機能型ペルオキシダーゼ VP1 (旧名 MnP4 または VP4) の相同組換えによる CBM 付加を試みた。pMnP4_CBM_PA を構築し、ヒラタケ 20b 株 (*KU80::Cb^xR* (*KU80* 遺伝子をカルボキシン耐性遺伝子で置換)) を宿主とした相同組換えにより、ゲノム上の VP1 遺伝子 C 末端部分に Factor Xa、linker、CBM、Thrombin を挿入した。その際、形質転換体を選別するための選択マーカー遺伝子としてピアラホス耐性遺伝子

(*CnAct* プロモーターとシイタケ *Cbx^R* ターミネーターで制御) も VP1 ターミネーターの下流に挿入した。

VP1 以外の MnP 活性を持つタンパク質はほとんど発現せず、VP1 特異的に発現する培養条件 (Knop, D. et al. (2014) *Appl Microbiol Biotechnol* 98, 6795-6804) にて、上述の形質転換体 (pMnP4_CBM_PA1、pMnP4_CBM_PA2、pMnP4_CBM_PA3) を培養し、Mn²⁺酸化活性を測定した。組換え体を、木材腐朽実験に供した。

3) リグニン親和性ペプチドリガンドを有する磁性金属微粒子人工酵素触媒の開発

ステアリン酸で保護されたマグネタイトナノ粒子を合成し、マイクロ波照射下における触媒的酸化特性を 2 級ベンジルアルコールを基質として評価した。また、ステアリン酸保護マグネタイトナノ粒子へのリグニン親和性ペプチドリガンドの導入を目的として、表面修飾分子の変換、および酸化触媒反応条件下における耐久性について検討した。合成した金属ナノ粒子について、TEM により分子形状と単分散性を解析し、元素分析、TG、DTA、XAFS、XRD により、ナノ粒子中の鉄錯体の構造を解析した。酸化剤として、酸素、過酸化水素、oxone、*m*-CPBA、*phl*(OAc)₂、NMO を用いて反応を実施し、2 級ベンジルアルコールを基質として反応性を評価した。さらに、基質として -O-4 リグニン二量体モデルを用いて反応を行った。

4. 研究成果

本研究では、リグニン親和性ポリペプチド鎖とリグニンの相互作用を理解するとともに、リグニン親和性ポリペプチド鎖をリグニン分解酵素や合成触媒に組み込むことにより、リグニン分解の反応性や選択性を高めることを目的として研究を実施した。リグニン親和性ペプチド C416 のタンデムダイマーを白色腐朽菌カワラタケの N 末と C 末に連結した変異酵素を *Pichia pastoris* で発現し、メディエーター存在下、および非存在下で微粉碎木材との反応した後、反応物をチオアシドリシスで解析した。その結果、リグニン親和性ペプチド C416 のタンデムダイマーの連結により、リグニン主要結合である β-O-4 結合の分解性が高まった。リグニンの分解率は、メディエーター存在下の方が高く、リグニン親和性ペプチド結合による分解率向上効果も顕著であった。

リグニン親和性ペプチド C416 をタンデムダイマー化するとリグニンへの親和性がおよそ 10 倍向上し、これらのペプチドにスギやユーカリの単離リグニンを添加するとペプチドのコンフォメーションが変化することを見出し、論文発表した。コンフォメーションの変化は、針葉樹と広葉樹リグニンで異なる挙動を示した。

さらに、N15 ラベル化した糸状菌 *Trichoderma reesei* Cel7A の CBM を単独発現し、リグニンの結合を二次元 NMR で解析した。即ち、糸状菌 *T. reesei* の CBM (*TrCBM1*) を大腸菌で発現して安定同位体を導入し、リグニンへの吸着特性を解析した。*TrCBM1* は His-*TrCBM1*-GFP として大腸菌で発現し、エンテロキナーゼで His タグ部位を、Thrombin で GFP 部位を切断することで *TrCBM1* を取得した。精製酵素は、SDS-PAGE ではシングルド、MALDI-TOF-MS では単一ピークを与えた。正常フォールディングおよびアンフォールディングの *TrCBM1* の NMR スペクトルを比較し、正常フォールディングしたタンパクを用いて、化学シフト摂動法により、リグニンの *TrCBM1* への吸着サイトをセロヘキサオースと比較し解析した。その結果、セロヘキサオースは、*TrCBM1* の底面のフラットサーフィスに存在するトリプレット疎水性アミノ酸やその周辺、その反対側にあるクレフトで選択的に起こるのに対し、リグニンは、この両サイト以外の広い範囲に吸着することを明らかにし、論文出版し、プレス発表した。

TrCBM1 を白色腐朽菌 *Phanerochaete chrysosporium* のリグニンペルオキシダーゼ (LiP) 主要アイソザイム遺伝子 *lip A* (H8) および *lip E* の C 末端部分に *T. reesei* 由来の CBH アイソザイム *cel7A* のリンカーおよび CBM 領域に相当する塩基配列を結合させた組換え遺伝子をヒラタケに導入した。この実験では、CBM における平面認識部位として重要 Y5、な Y31、Y32 に変異を加えた変異 CBM を持つ組換え遺伝子 (Y5WY31W および Y5WY31F) も作成した。これらの組換え遺伝子をヒラタケ #261 株へ導入し、遺伝子導入ヒラタケ群を得た。遺伝子導入ヒラタケを培養し、培養上清からタンパク質の精製を試みたが、活性のある酵素は分泌されなかった。

次に、ホストであるヒラタケの多機能型ペルオキシダーゼ VP1 の相同組換えによる CBM 付加を試みた。pMnP4_CBM_PA を構築し、ヒラタケ 20b 株 (*KU80::Cbx^R* (*KU80* 遺伝子をカルボキシ耐性遺伝子で置換)) を宿主とした相同組換えにより、ゲノム上の VP1 遺伝子 C 末端部分に Factor Xa、linker、CBM、Thrombin を挿入した。その際、形質転換体を選別するための選択マーカー遺伝子としてピアラホス耐性遺伝子 (*CnAct* プロモーターとシイタケ *Cbx^R* ターミネーターで制御) も VP1 ターミネーターの下流に挿入した。他の MnP 活性を持つタンパク質はほとんど発現せず、VP1 特異的に発現する培養条件にて、上述の形質転換体を培養したところ、pMnP4_CBM_PA2、pMnP4_CBM_PA3 について 20b 株と同レベルの Mn²⁺酸化活性が確認され、腐朽特性を解析した。

リグニン親和性ペプチドリガンドを有する磁性金属微粒子人工酵素触媒の開発を目標として実験を行った。リグニン認識ペプチドリガンドへのリガンド交換の可能なステアリン酸で保護さ

れたマグネタイトナノ粒子を合成し、マイクロ波照射下における触媒的酸化特性について評価した。種々の酸化反応の検討の結果、マグネタイトナノ粒子は過酸化水素存在下、マイクロ波照射により、収率は中程度ながらも数分程度で速やかにベンジルアルコールの酸化反応を促進することを見出した。また、マイクロ波加熱酸化触媒反応過程におけるマグネタイトナノ粒子表面の反応メカニズムを解析し、触媒の再利用性、酸化剤の再検討、基質適用範囲の検討を行った。その結果、本触媒では反応溶媒であるアセトニトリル中におけるマイクロ波加熱が触媒の失活を抑制する作用を示すことを見出し、最低 5 回はナノ粒子触媒を回収・再利用できることを明らかにした。

リグニン親和性ペプチドリガンドを結合させるためには、マイクロ波に対する安定性を高める必要があることが明らかとなった。本触媒はリグニンモデル化合物に対して触媒活性を示し、対応する酸化生成物を与えることを見出した。また、マグネタイトと種々の脂肪酸からなる磁性をもつ金属ナノ粒子を合成し、ベンジル位の酸化活性をもつことを明らかにした。また、脂肪酸としてはステアリン酸、酸化剤としては NMO が適していることを示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

1. Y. Tokunaga, T. Nagata, T. Suetomi, S. Oshiro, K. Kondo, M. Katahira and T. Watanabe, NMR Analysis on Molecular Interaction of Lignin with Amino Acid Residues of Carbohydrate-Binding Module from *Trichoderma reesei* Cel7A, *Scientific Reports*, 9, 1977. (2019).
2. Yasunori Ohashi, Takashi Watanabe, Catalytic Performance of Food Additives Alum, Flocculating Agent, Al(SO₄)₃, AlCl₃, and Other Lewis Acids in Microwave Solvolysis of Hardwoods and Recalcitrant Softwood for Biorefinery, *ACS Omega*, 3, 16271–16280. (2018).
3. Isozaki, K., T. Shimoaka, S. Oshiro, A. Yamaguchi, F. Pincella, R. Ueno, T. Hasegawa, Takashi Watanabe, H. Takaya, and M. Nakamura, Robust Surface Plasmon Resonance Chips for Repetitive and Accurate Analysis of Lignin–Peptide Interactions, *ACS Omega*, 3, 7483–7493 (2018).
4. Lin, M. I., Nagata, T. and Katahira, M. High yield production of fungal manganese peroxidases by *E. coli* through soluble expression, and examination of the activities, *Protein Expr. Pur.*, 145, 45–52 (2018).
5. Oshiro, S., A. Yamaguchi and Takashi Watanabe, Binding behaviour of a 12-mer peptide and its tandem dimer to gymnospermae and angiospermae lignins, *RSC Advances*, 7, 31338–31341 (2017).
6. Matsunaga, Y., Ando, M., Izumitsu, K., Suzuki, K., Honda, Y. Irie, T. A development and an improvement of selectable markers in *Pleurotus ostreatus* transformation. *J. Microbiol. Methods*, 134, 27–29 (2017).
7. Yamaguchi, A., K. Isozaki, M. Nakamura, H. Takaya, T. Watanabe, Discovery of 12-mer peptides that bind to wood lignin, *Scientific Reports*, 6, 21833 (2016).

[学会発表](計 24 件)

1. Yuki Tokunaga, Satoshi Oshiro, Keiko Kondo, Takashi Nagata, Hiroshi Nishimura, Masato Katahira, Takashi Watanabe, Analysis of Interaction Between Carbohydrate Binding Module of Cellulase and Lignin, Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science, Penang, Malaysia, 2017.2.20
2. 徳永有希、大城理志、末富高志、近藤敬子、永田崇、片平正人、渡辺隆司、セルラーゼ糖質結合モジュールとリグニン間相互作用の解析、第 330 回生存圏シンポジウム(第 13 回持続的生存圏創成のためのエネルギー循環シンポジウムおよび第 6 回先進素材開発解析システム(ADAM)合同シンポジウム)、京都、2017.1.10
3. 徳永有希、大城理志、永田崇、近藤敬子、西村裕志、片平正人、渡辺隆司、安定同位体標識法を用いたセルラーゼ糖質結合モジュールとリグニン間相互作用の NMR による解析、第 67 回日本木材学会年次大会、福岡、2017.3.17–19
4. Y. Tokunaga, S. Oshiro, K. Kondo, T. Nagata, H. Nishimura, M. Katahira, T. Watanabe, NMR Analysis of Interaction Mechanism between Carbohydrate Binding Module of Cellulase and Lignin, The 2nd Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science, Kyoto, Japan, 2017.7.19–21
5. Y. Tokunaga, S. Oshiro, T. Nagata, K. Kondo, H. Nishimura, M. Katahira, T. Watanabe, Analysis of Adsorption Mechanism between Carbohydrate Binding Module of Cellulase and Lignin by NMR, The Humanosphere Science School 2017, Bogor, Indonesia, 2017.11.1–2.
6. 徳永有希、大城理志、永田崇、近藤敬子、西村裕志、片平正人、渡辺隆司、NMR 法によるセルラーゼ糖質結合モジュール-リグニン間相互作用の解明、第 31 回セルラーゼ研究会、長野、2017.7.7–8.
7. 徳永有希、大城理志、永田崇、近藤敬子、西村裕志、片平正人、渡辺隆司、セルラーゼ糖質結合モジュールとリグニン間相互作用の NMR による解析、第 356 回生存圏シンポジウム(第 14 回持続的生存圏創成のためのエネルギー循環シンポジウムおよび第 7 回先進素材開発解析システム(ADAM)合同シンポジウム)、京都、2017.11.27

8. 徳永有希、大城理志、永田崇、近藤敬子、片平正人、渡辺隆司、セルラーゼ糖質結合モジュールとリグニン間相互作用部位の NMR による解析、第 68 回日本木材学会年次大会、京都、2018.3.14-16.
9. Yuki Tokunaga, Takashi Nagata, Keiko Kondo, Masato Katahira, Takashi Watanabe, NMR analysis of Non-productive Binding of Carbohydrate Binding Module of Cellobiohydrolase with Lignin, The 3rd Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science, Taiwan, 2018.9.25-27.
10. Takashi Watanabe, Yuki Tokunaga, Satoshi Ohshiro, Hiroshi Nishimura, Takao Kishimoto, Masaharu Nakamura, Keiko Kondo, Takashi Nagata, Masato Katahira, Interaction analysis between cellulase carbohydrate-binding module and lignin by ultra-high sensitivity NMR for biorefinery, The 9th International Symposium of Advanced Energy Science, 2018.9.3-5.
11. 徳永有希、永田崇、近藤敬子、片平正人、渡辺隆司、NMR 化学シフト摂動法を用いたセルラーゼ糖質結合モジュールとリグニン間相互作用の解析、第 385 回生存圏シンポジウム(第 15 回持続的生存圏創成のためのエネルギー循環シンポジウムおよび第 8 回先進素材開発解析システム (ADAM) 合同シンポジウム)、京都、2018.11.26.
12. Katahira, M. (2016) The 7th International Symposium of Advanced Energy Science -Frontier of Zero Emission Energy-, "Supramolecular structure and stereoselective enzymatic reaction of wood biomass toward biorefinery"
13. H. Okamura, K. Kamba, H. Nishimura, T. Kigawa, T. Watanabe, T. Nagata, M. Katahira , Accurate and molecular-size-tolerant NMR quantitation of diverse compounds, and real-time monitoring of enzymatic reaction , The XXVIIth International Conference on Magnetic Resonance in Biological Systems , 京都国際会館 , 2016.8.21-26
14. 林孟宜, 近藤敬子, 永田崇, 片平正人, リグノセルロース分解に関わる木材腐朽菌が産する酸化酵素の異種発現および構造活性相関解析, 第 61 回リグニン討論会, 京都大学, 2016.10.27-28
15. M.-I Lin, K. Kondo, T. Nagata, M. Katahira , Heterologous expression of the ligninolytic enzymes from wood rotting fungi and analysis of peroxidase activity, lignin model degradation, and homology modeling , 日本農芸化学会 2017 年度大会 , ウェスティン都ホテル京都 , 2017.3.17-20
16. 林孟宜, 近藤敬子, 永田崇, 片平正人, High yield production , activity analysis and homologous modeling of soluble fungal manganese peroxidases expressed in E. coli , 第 17 回日本蛋白質科学会年会, 仙台国際センター , 2017.6.20-22
17. Katahira, M. (2018) The 9th International Symposium of Advanced Energy Science -Interplay for Zero-Emission Energy-, "Heterologous expression and characterization of enzymes of wood rotting fungi to be used for utilization of woody biomass"
18. Francesca Pincella, Katsuhiko Isozaki, Hikaru Takaya, and Masaharu Nakamura, "Magnetic iron oxide nanoparticles as green and recyclable catalysts for the selective microwave-assisted oxidation of secondary alcohols", IRCCS The 2nd International Symposium "New Future by Chemical Synthesis and Energy Materials", poster, P-50, Uji campas, Kyoto University (Kyoto), 2019.1.25-26.
19. Francesca Pincella, Katsuhiko Isozaki, Hikaru Takaya, Masaharu Nakamura, "Microwave-assisted oxidation of secondary alcohols with magnetic nanoparticle catalysts", 千葉 , 2018.3.20-23.
20. 徳永有希, 永田崇, 近藤敬子, 片平正人, 渡辺隆司, ¹³C ラベル化リグニンオリゴマーモデルを用いたセルラーゼ糖質結合モジュールとの相互作用解析, 第 69 回日本木材学会大会, 函館, 2019.3.14-16.
21. 徳永有希, 永田崇, 近藤敬子, 片平正人, 渡辺隆司, NMR 法によるリグニン-セルラーゼ糖質結合モジュール間吸着の解析, 第 63 回リグニン討論会, 東京, 2019.11.1-2.
22. T. Watanabe, C. Qu, S. Oshiro, H. Nishimura, K. Kashimura, T. Nagata, M. Katahira, K. Isozaki, H. Takaya, M. Nakamura, Approaches for valorization of ligninocelluloses using microwave technology and lignin-binding catalysts, Lignobiotech V, 5th Symposium of Biotechnology Applied to Lignocelluloses, Helsinki, 2018.8.29-9.1.
23. 徳永有希、永田崇、近藤敬子、片平正人、渡辺隆司、*Trichoderma reesei* 由来 Cel7A の CBM1 がリグニンに吸着するメカニズムの解析、第 32 回セルラーゼ研究会、佐久、2018.7.13-14.
24. 山口亜佐子、末富高志、大城理志、徳永有希、西村裕志、永田崇、真嶋司、片平正人、磯崎勝弘、高谷光、中村正治、渡辺隆司、リグノセルロースバイオリファイナーリーのためのリグニン・ペプチド間相互作用解析、第 61 回リグニン討論会、宇治、2016/10/14

〔図書〕(計 1 件)

Sadat M.R. Khattab and Takashi Watanabe, Bioethanol From Sugarcane Bagasse: Status and Perspectives,

in “Bioethanol Production from Food Crops 1st Edition Sustainable Sources, Interventions, and Challenges”, eds. Ramesh Ray S Ramachandran, Academic Press, 187-212 (2018).
eBook ISBN: 9780128137673, Paperback ISBN: 9780128137666

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 0 件）
- 取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

プレス発表 2019年2月14日 セルラーゼとリグニンの相互作用をはじめて分子レベルで包括的に解明 ―バイオマス変換や酵素科学に貢献―

- 京都大学ホームページ
http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/190213_1.html
- 化学工業日報 2019/2/25 セルラーゼ リグニンとの結合解析 京大分子レベルで成功
- 日経バイオテク <https://bio.nikkeibp.co.jp/atcl/release/19/02/15/06842/> など。

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：磯崎 勝弘

ローマ字氏名：Katsuhiko Isozaki

所属研究機関名：京都大学

部局名：化学研究所

職名：助教

研究者番号（8桁）：30455274

研究分担者氏名：入江 俊一

ローマ字氏名：Toshikazu Irie

所属研究機関名：滋賀県立大学

部局名：環境科学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：30336721

研究分担者氏名：西村 裕志

ローマ字氏名：Hiroshi Nishimura

所属研究機関名：京都大学

部局名：生存圏研究所

職名：助教

研究者番号（8桁）：50553989

研究分担者氏名：片平 正人

ローマ字氏名：Masato Katahira

所属研究機関名：京都大学

部局名：生存圏研究所

職名：助教

研究者番号（8桁）：50553989

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中村 正治

ローマ字氏名：Masaharu Nakamura

研究協力者氏名：高谷 光

ローマ字氏名：Hikaru Takaya

研究協力者氏名：永田 崇

ローマ字氏名：Takashi Nagata

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。