

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03840

研究課題名(和文) 単離木材セルロース中の周期的非晶領域の生成機構の解明

研究課題名(英文) Studies on mechanisms to form disordered regions periodically present along cellulose microfibrils in isolated wood celluloses

研究代表者

磯貝 明 (Isogai, Akira)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：40191879

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：単離精製された高等植物セルロース繊維を希酸中で加熱処理すると、常に一定の平均重合度200～300に低分子化し、この値はレベルオフ重合度(LODP)として知られている。このLODPが植物セルロースの生合成段階から生成しているのか否かを含め、LODP生成機構の解明を目的とした。その結果、LODPに対応するセルロースマイクロフィブリルの長さ方向に周期的に存在する非晶領域は、単離精製した高等植物セルロースのセルロース含有量(純度)および乾燥条件により、後天的に生成することを明らかにした。従って、植物セルロース原料を適正に選択すれば、これまで不可能であった酸性下での多様な化学反応が適用可能になる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで植物セルロース繊維の化学反応においては、酸性条件下での反応は著しい分子量低下が避けられないため、合成高分子分野のような幅広く多様な化学反応の適用には限界があった。しかし、本研究により、低分子化の要因となる非晶領域の生成が、単離-精製過程での乾燥条件に依存することが明らかになった。従って、乾燥条件を避けて未乾燥セルロース繊維を出発素材として用いることにより、高強度物性の発現に關与する高分子量を有する、セルロースの誘導体化、セルロースの酸化等の多様な化学反応が、酸性下でも可能となり、再生産可能なバイオマスであるセルロースの有効利用、高機能化につながる成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：When higher plant cellulose fibers are subjected to dilute acid hydrolysis at high temperatures, the hydrolyzed celluloses have always low and constant degrees of polymerization of 200-300, called "levelling-off degrees of polymerization or LODPs". This research project was to make clear the formation mechanism of LODPs. As a consequence, the LODPs were found to be formed from plant cellulose fibers through dilute acid hydrolysis, depending on the cellulose content of the fibers and drying conditions; the disordered regions periodically present along the longitudinal direction in each cellulose microfibril, corresponding to LODPs, are formed during isolation/purification/drying processes, and not present in the pristine cellulose microfibrils. These results would expand versatile chemical reactions of plant cellulose fibers under acid conditions using never-dried plant cellulose fibers as starting materials by avoiding remarkable depolymerization of the chemically reacted celluloses.

研究分野：セルロース化学

キーワード：セルロース レベルオフ重合度 セルロースマイクロフィブリル 非晶領域 セルロースナノファイバー
セルロースナノクリスタル TEMPO

1. 研究開始当初の背景

CO₂の固定化物である植物バイオマスのマテリアル利用の質的・量的拡大による脱石油型・循環型社会基盤の構築、地球温暖化防止を目的とし、その主成分であるセルロースの高機能化に関連する基礎および応用研究が世界レベルで検討されている。

セルロースは高分子であるため、その分子量および分子量制御は、材料設計・物性および機能制御の基本となる。従来から植物資源から単離・精製過程を経て得られる、植物細胞壁由来のセルロース繊維中の最小構成エレメントである、幅約 3 nm で長さ数ミクロンに至る「セルロースマイクロフィブリル」には、長さ方向に周期的な非晶領域が存在していることが実験的に認識されてきた。その根拠となるのが、単離・精製して得られる植物セルロース繊維（木材セルロース、綿セルロースを含む非木材セルロース等）を希酸加水分解すると、短時間で重合度が 200 ~ 300 に低下し、その後希酸加水分解処理時間を延長して収率が徐々に低下しても、常にこの重合度 200 ~ 300 の値を維持する「レベルオフ重合度 (levelling-off degrees of polymerization (LODPs))」が存在することである。

これまで、このマイクロフィブリルの長さ方向に周期的に存在すると考えられる非晶領域を電子顕微鏡で可視化・証明するための様々な検討が行われたが、その直接的な存在証明は報告されていない。電子顕微鏡によるセルロースマイクロフィブリルの結晶格子像の可視化が可能な、結晶サイズの大きな藻類あるいはホヤセルロースについては、このような周期的な非晶領域は存在せず、セルロースマイクロフィブリルは単結晶であることが証明されている (Sugiyama et al., *Planta*, 166, 161, 1985)。しかし、幅約 3 nm と超極細の植物細胞壁中のセルロースマイクロフィブリルについては、周期的な非晶領域の電子顕微鏡を用いた可視化による存在証明には至っていない。

植物細胞壁から単離精製して得られるセルロース繊維中のセルロースマイクロフィブリルの長さ方向に沿って存在すると考えられる非晶領域の構造を積極的に利用した素材として、微結晶セルロース粉末が挙げられる。植物の起源によらず、また、希酸加水分解条件の変動によらず、常に一定の重合度を与えるために、タブレット錠剤成形用や、食品添加物として既に利用されている。また、ナノセルロース類の代表であり、木材パルプの、64%硫酸処理で製造される長さ 100 nm 程度のセルロースナノクリスタル「cellulose nanocrystals (CNCs)」は、木材セルロース中のセルロースマイクロフィブリルの長さ方向に存在する非晶領域分布を利用することで、常に形状や特性を一定範囲内に制御可能となっている。

一方、長さが数百 nm 以上のセルロースナノファイバー「Cellulose nanofibers (CNFs)」は、高アスペクト比（長さ/幅の比率）であるがゆえに、プラスチック基材への少量添加による複合化によって軽量高強度プラスチック複合材料への変換が可能となる (Isogai, *J. Wood Sci.*, 59, 449, 2013)。したがって、CNF の長さを制御するためには、単離精製されたセルロース繊維中のセルロースマイクロフィブリルの長さ方向に周期的に存在する非晶領域の生成機構および制御技術を構築することが、その利用分野の拡大に必須となることが、明らかになってきており、本申請はこれまでの CNF 関連研究の結果に基づいている。また、セルロースマイクロフィブリルの長さ方向に周期的な非晶領域の存在しないセルロース原料が得られれば、これまで避けられてきた、効率的で低環境負荷型の新しい酸性下でのパルプ化・漂白プロセス・セルロース誘導体化反応等も適用可能となり、超高分子量のセルロース系素材の製造・利用が可能となる。

2. 研究の目的

バイオマスの質的・量的利用の拡大を目的として、従来型のセルロース材料、セルロース誘導体に加え、最近ではセルロースナノファイバーに関する基礎および応用研究が進められている。脱リグニン・漂白処理を経て得られる単離植物セルロース繊維には、セルロースマイクロフィブリル方向に周期的に存在する非晶領域の存在が経験的に共通認識されている。この非晶領域の存在は、セルロースを利用する上での条件によっては、分子量の著しい低下要因となる。しかし、この非晶領域が生合成過程で生成しているのか、単離あるいは乾燥処理過程で後天的に生成するのか、その生成機構および制御については未解決である。そこで、単離された植物セルロース中に存在するこの周期的な非晶領域の生成および制御機構を分子からナノレベルで明らかにすることを目的とする。

植物体内で生合成され、植物細胞壁中でリグニン、ヘミセルロース成分と複合化された段階でのセルロースマイクロフィブリルは、セルロースが有する光学活性によって長周期でねじれており、対称性の無いナノファイバー構造であると仮定する (Atalla, et al., *Carbohydr. Polym.*, 100, 2, 2013) ことが妥当である。そして、セルロース繊維の単離・精製過程で隣接するセルロースマイクロフィブリル間との無数の水素結合形成によってねじれが妨げられることによる内部応力の蓄積・開放により、単離・精製・乾燥過程で長さ方向に規則性が乱れた非晶領域が生成する機構を証明し、同時に単離・精製条件の選択や、乾燥条件を制御することで、非晶領域の無い、結晶の乱れや欠陥のないセルロースマイクロフィブリルからなるセルロースを得る方法を構築する。

3. 研究の方法

未乾燥木材、乾燥木材試料から、亜塩素酸ナトリウムによる脱リグニン処理前後、4%NaOHを用いた脱ヘミセルロース処理前後で希酸加水分解処理を行い、中性構成糖分析、多角度光散乱検出器を付属したサイズ排除クロマトグラフィー (SEC/MALLS) による絶対分子量、重合度・重合度分布解析から、どの段階で周期的非晶領域が生成するのかを明らかにする。最終目的としては周期的非晶領域の周期あるいは存在そのものを制御する条件を構築し、欠陥部位の無い、あるいは少ない新しい木材セルロース素材として利用分野の拡大につながる基礎的知見を蓄積する。また、そのような周期的な非晶構造の無い木材セルロース試料から、TEMPO 触媒酸化でマイクロフィブリル表面に C6 カルボキシ基を高密度で導入し、フィブリル間水素結合形成を阻害することで、欠陥のない高アスペクト比のナノファイバー調製の条件を検討する。これらの研究を進めることで、産学連携によって社会に還元することを目指すことにより、森林バイオマスの質的・量的利用の拡大を進め、循環型社会対応型の産業分野の発展・創成に貢献する知見を蓄積し、木質バイオマス利用に向けた技術基盤の構築をめざす。

4. 研究成果

(1) セルロース含有量および乾燥条件による木材セルロースの重合度変化¹⁾

風乾したスギ木粉を脱脂後に脱リグニン処理したホロセルロースを 4% NaOH 処理してヘミセルロース成分をある程度除去した木材セルロース試料を調製した(約 90%のセルロース含有量)。その際に、各段階で加熱乾燥処理を経た試料と未乾燥のままの試料を調製した。それらを希酸中で加熱処理し、加熱処理時間と分子量あるいは重合度の関係を検討した。分子量あるいは重合度は 0.5M 銅エチレンジアミン溶液に溶解して粘度法で測定する方法と、8% LiCl/DMAc に溶解後、1% LiCl/DMAc に希釈して SEC/MALLS 法でも測定した。その結果、図 1 左に示すように、乾燥履歴のある市販針葉樹漂白クラフトパルプ (SBKP) は、従来の知見通り、希酸加水分解時間 1~4 時間で、200~300 の一定の重合度 (LODP 値) を与えた。しかし、全工程において乾燥履歴の無い「ND-wood cellulose」、木粉の段階で加熱乾燥後、脱リグニン処理、脱ヘミセルロース処理を未乾燥で調製した「OD1-wood cellulose」、木粉の段階で加熱乾燥後、脱リグニン処理 - 脱ヘミセルロース処理後に加熱乾燥処理した「OD2-wood cellulose」は異なった重合度変化挙動を示した。すなわち、SBKP 以外は明瞭な LODP 値にはならなかった(図 1 左)。これらの結果から、木材セルロース繊維中のセルロース含有量には依存せず (SBKP も wood cellulose もほぼ同量のセルロース含有量のため)、加熱乾燥処理履歴によって LODP 値に対応する、周期的な非晶領域が後天的に生成することが明らかになった。粘度法ではなく、SEC/MALLS 法で測定した場合には(図 1 右)、絶対値は異なるが図 1 左と同様の結果となった。SEC/MALLS 法では高分子の絶対分子量の測定が可能であることから、図 1 右の結果が真の重合度とみなすことができる。

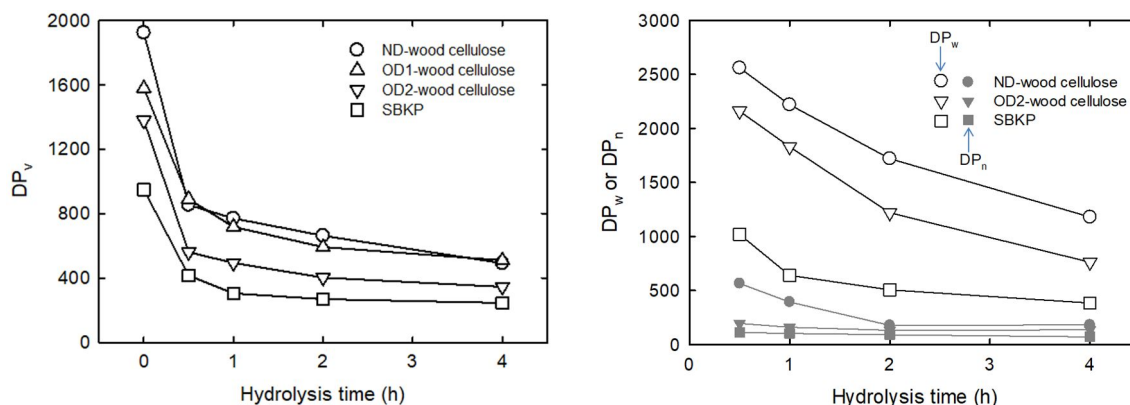


図 1 各種セルロース試料の希酸加水分解処理による重合度 (DP) の変化。粘度法による重合度 (DP_v) の変化 (左) と、SEC/MALLS 法で測定した数平均重合度 (DP_n) および重量平均重合度 (DP_w) の変化 (右)。

また、全処理過程で乾燥履歴の無い ND-wood cellulose 試料と、乾燥履歴のある OD2-wood cellulose および SBKP について希酸加水分解時間の異なる試料について、SEC/MALLS 法で得られた分子量分布を図 2 に示す。この図からも、SBKP では希酸加水分解時間に関わらずほぼ一定の分子量分布となる。一方、ND-wood cellulose と OD2-wood cellulose 試料は、希酸加水分解初期では高分子量成分が残存しており、希酸加水分解時間の経過とともに低分子化した。また、常に一定の LODP 値を示す。SBKP 試料についても、その分子量は 2000~1000000 (重合度で 12~6000) の広範囲となることが明らかになった。もしも、重合度 200~300 に対応する周期的な非晶領域が、木材セルロースマイクロフィブリルの長さ方向に生合成の段階で制御されて生成すると仮定すると、このような広範囲の周期構造は考えにくい。むしろ、乾燥工程で後天的に生成するため、その乾燥条件や隣接するセルロースマイクロフィブリルとの距離や量に依存して乾

燥によるフィブリル間水素結合量が異なり、対応してマイクロフィブリルの捻じれの程度や応力の開放の程度の差異が要因となって、上記のような幅広い非晶領域分布の結果と考えられる。

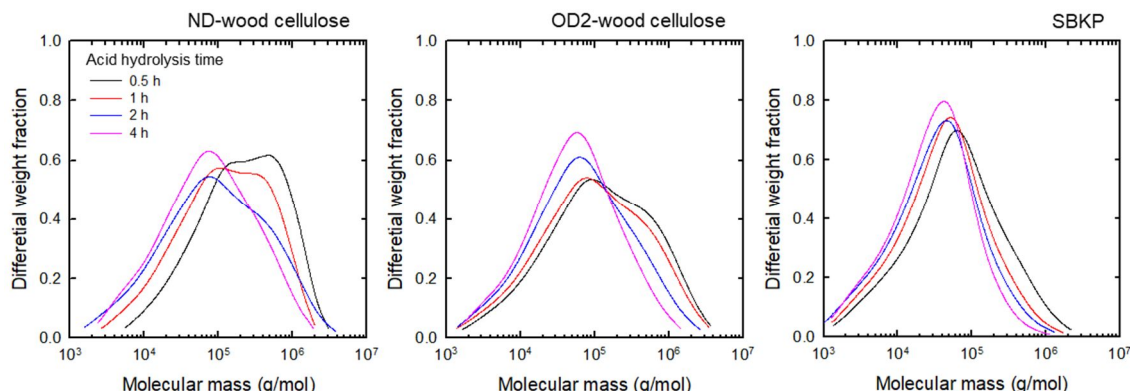


図 2 全工程で未乾燥のスギセルロース (ND-wood cellulose)、乾燥履歴のあるスギセルロース (OD2-wood cellulose)、乾燥履歴のある市販針葉樹漂白クラフトパルプ (SBKP) の、希酸加水分解時間に対する分子量分布の変化。SEC/MALLS 法で測定。

以上のように、LODP に対応する周期的な非晶領域構造が、植物セルロース繊維の加熱乾燥履歴によって制御できる可能性が示された。従来まで、綿セルロースや木材パルプ繊維のような高等植物セルロースの誘導体化 (カルボキシメチル化、メチル化等のエーテル化、酢酸セルロース、硝酸セルロース等のエステル化)、セルロースの化学反応 (TEMPO 酸化セルロースナノファイバー調製等) の際には、酸性条件の反応では LODP に対応する著しい分子量低下が避けられなかったため (工業プロセスでは、通常は乾燥履歴のある工場生産セルロース繊維を使用せざるを得ないため) 植物セルロース繊維の化学反応による高機能化、高付加価値化は避けられなかった。セルロースの化学反応生成物の分子量低下は材料としての強度低下につながるためである。しかし、未乾燥の植物セルロース繊維を用いることで、酸性条件の化学反応でも高分子量の生成物を得ることができると判明したため、セルロースに適用可能な化学反応の範囲・種類を大幅に拡大することができることになる。

このような結果から、乾燥履歴のある SBKP と、パルプ化後には乾燥履歴の無い針葉樹未漂白アントラキノンパルプ (SUSAQP: 日本製紙研究所より提供) について、希酸加水分解処理と、TEMPO 触媒酸化処理後の粘度平均重合度変化を測定した (図 3)。その結果、希酸加水分解処理では、両試料とも希酸加水分解時間 2 時間と 4 時間で、LODP 値である 200~300 に低下した。一方、TEMPO 触媒酸化 (pH 10 の水溶液中で常温、最大 1.5 時間ほど攪拌処理) し、追還元処理しないでそのまま 0.5M 銅エチレンジアミン溶液に溶解して DP_v を測定した場合には、SBKP と SUSAQP では明瞭な差異が見られた。TEMPO 酸化試料が低分子化する理由として、LODP 値を与える非晶領域にアルカリ性の銅エチレンジアミン溶液で分子鎖が切断される C6-アルデヒド基が生成するためと考えられている。図 3 左の結果は、SBKP も SUSAQP も 170 で 1.5 時間程度のパルプ化処理履歴を受けており、その脱リグニンプロセスを伴うアルカリ水溶液中での加熱処理により、希酸すなわちサイズの小さな H⁺ が侵入可能な周期的な非晶領域が生成してしまうため、その後に未乾燥工程を維持していても、希酸加水分解処理によって LODP 値になってしまうことが示された。

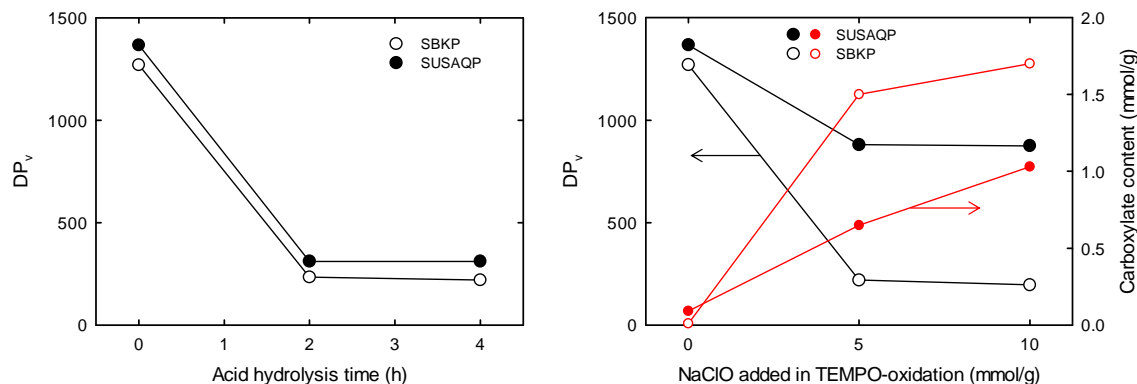


図 3 乾燥履歴のある針葉樹漂白クラフトパルプ (SBKP) と、パルプ化後は未乾燥の針葉樹未漂白アントラキノンパルプ (SUSAQP) の希酸加水分解処理 (左) と、TEMPO 触媒酸化処理 (右) による粘度平均重合度 (DP_v) 変化。

一方、TEMPO 触媒酸化反応では pH 10 の弱アルカリ性条件で、H⁺ よりもサイズの大きな酸化 TEMPO 分子 (TEMPO⁺) の C6-OH 基への結合と離脱によって C6-アルデヒド基が生成するため、非

晶領域部分への酸化による、低分子化の要因となる C6-アルデヒド基の生成が抑えられるとみなすことができる。すなわち、同じ未乾燥植物セルロースでも、加熱条件の脱リグニン（パルプ化）処理履歴によっても、非晶領域の部位ではなく非晶領域構造に差異が生じる（すなわち、H⁺が入り込めるような非晶構造か、TEMPO⁺までが入り込めるような非晶構造かの差異）ことが判明した。結論として、周期的な非晶領域の分布状態だけではなく、その構造自体も、乾燥処理条件によって異なることが明らかになった。

(2)植物セルロース分子の分岐構造解析^{2,4)}

本研究を通じて、従来のセルロースの化学構造に関して SEC/MALLS 分析を用いることで、全く異なる以下の結果。すなわち、リグニンの無い、海藻のセルロース、リグニンを有するが後期過程の進化植物である、広葉樹セルロース、草本セルロース、およびバクテリアセルロース、ホヤセルロースは、従来の知見通り、直鎖状のセルロース分子の構造を有していた。一方、リグニンを有しない陸上植物のコケ、リグニンを有する維管束植物のシダ、裸子植物（スギ、イチヨウ）のセルロースは、リグニンあるいはリグニン様物質を介して、ヘミセルロースであるグルコマンナンの分岐構造を高密度で有していた。

これらの分岐構造は、リグニン存在下で酸処理する（例として、酸性亜硫酸パルプ化、前加水分解クラフトパルプ等）、TEMPO 触媒酸化処理することにより、直鎖状のセルロース分子に変換できる。高分子量を有する上記の植物セルロース分子にグルコマンナンの分岐構造が形成されるメカニズムに関しては、木化過程でのリグニンのラジカル重合プロセスで、非フェノール型のベンジルエーテル型の結合が、セルロースマイクロフィブリル表面の C6-OH 基、グルコマンナンの C6-OH 間でのエーテル結合形成により（すなわち酵素で制御されることなく）生成するメカニズムを提案することができた。このセルロース/グルコマンナン結合はアルカリ条件では安定であるため、アルカリ性のパルプ化、あるいは 17.5% NaOH 抽出処理後も残存する。

このような分岐構造が、なぜコケ、シダ、裸子植物中のセルロース分子にあり、海藻、広葉樹、草本類、バクテリアセルロースに存在しないのかは、裸子植物の樹高、長寿命等にも関連しており、今後も植物の進化の過程の観点から検討を進める予定である。

(3)TEMPO 酸化処理、TEMPO 酸化セルロースナノファイバーと非晶領域^{3,5-7)}

前述の(1)でも示したが、植物セルロース繊維中の非晶領域分布は、TEMPO 触媒酸化反応およびその結果得られる TEMPO 酸化セルロースナノファイバー、TEMPO 酸化セルロースナノクリスタルの構造や特性にも関連している。農産廃棄物であるソバガラ、モミガラ中のセルロースから、木材セルロースと全く同じ構造の TEMPO 酸化セルロースナノファイバーを調製することができること⁵⁾、木材セルロース、綿セルロース、海藻セルロースのマイクロフィブリル構造の差異、および1本のセルロースマイクロフィブリル中のセルロース分子数に関する知見が得られ⁵⁻⁷⁾、それらの研究成果を総説にまとめた³⁾。

<引用文献>

- 1) Funahashi, R.; Ono, Y.; Tanaka, R.; Yokoi, M.; Daido, K.; Inamochi, T.; Saito, T.; Horikawa, Y.; Isogai, A. "Changes in the degree of polymerization of wood celluloses during dilute acid hydrolysis and TEMPO-mediated oxidation: Formation mechanism of disordered regions along each cellulose microfibril", *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 109, 914-920 (2018).
- 2) Ono, Y.; Funahashi, R.; Saito, T.; Isogai, A. "Investigation of stability of branched structures in softwood cellulose using SEC/ MALLS/RI/UV and sugar composition analyses", *Cellulose*, Vol. 25, 2667-2679 (2018). (分岐)
- 3) Isogai, A. "Development of completely dispersed cellulose nanofibers", *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, Vol. 94, 161-179 (2018). (総説)
- 4) Ono, Y.; Funahashi, R.; Isogai, A., "Size-exclusion chromatography and viscometry analysis of various celluloses with branched and linear structures", *Cellulose*, Vol. 26, 1639-1647 (2019). (分岐)
- 5) Nakamura, Y.; Ono, Y.; Saito, T.; Isogai, A. "Characterization of cellulose microfibrils, cellulose molecules, and hemicelluloses in buckwheat and rice husks", *Cellulose*, Vol. 26, 6529-6541 (2019). (CNF)
- 6) Ono, Y.; Fukui, S.; Funahashi, R.; Isogai, A. "Relationship of distribution of carboxy groups to carboxy groups to molar mass distribution of TEMPO-oxidized algal, cotton, and wood cellulose nanofibrils", *Biomacromolecules*, Vol. 20, 4026-4034 (2019). (CNF)
- 7) Zhou, Y.; Ono, Y.; Takeuchi, M.; Isogai, A. "Changes to the contour length, molecular chain length, and solid-state structures of nanocelluloses resulting from sonication in water", *Biomacromolecules*, Vol. 21 (2020) in press. (マイクロフィブリル)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 1件）

1. 著者名 Akira Isogai	4. 巻 94
2. 論文標題 Development of Completely Dispersed Cellulose Nanofibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Japan Academy, Series B	6. 最初と最後の頁 161-179
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2183/pjab.94.012	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 Yuko Ono, Ryunosuke Funahashi, Akira Isogai	4. 巻 26
2. 論文標題 Size-exclusion chromatography and viscometry analysis of various celluloses with branched and linear structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 1639-1647
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10570-018-1713-7	査読の有無 有
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 Ryunosuke Funahashi, Yuko Ono, Reina Tanaka, Morihiko Yokoi, Kunihiko Daido, Toru Inamochi, Tsuguyuki Saito, Yoshiki Horikawa, Akira Isogai	4. 巻 109
2. 論文標題 Changes in the degree of polymerization of wood celluloses during dilute acid hydrolysis and TEMPO-mediated oxidation: Formation mechanism of disordered regions along each cellulose microfibril	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 914-920
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.078	査読の有無 有
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 Yuko Ono, Ryunosuke Funahashi, Tsuguyuki Saito, Akira Isogai	4. 巻 25
2. 論文標題 Investigation of stability of branched structures in softwood cellulose using SEC/ MALLS/RI/UV and sugar composition analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 2667-2679
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10570-018-1713-7	査読の有無 有
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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 小野祐子, 齋藤継之, 磯貝 明
2. 発表標題 HPLCオンライン粘度検出器によるセルロース試料の構造解析および粘度法によるセルロース分子量測定方法の検証
3. 学会等名 第85回紙パルプ研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野祐子, 齋藤継之, 磯貝 明
2. 発表標題 難溶解性セルロース試料のSEC/MALLS測定法の確立および構造解析
3. 学会等名 セルロース学会第25回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内美由紀, 測定真利子, 磯貝 明
2. 発表標題 13C02ラベリングを用いたポプラ木部における光合成産物の分布解析
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野祐子, 中村泰隆, 齋藤継之, 磯貝 明
2. 発表標題 SEC-MALLS測定による様々な樹種・植物種の高分子セルロースの分子構造解析
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 傑, 竹内美由紀, 則定真利子, 磯貝 明
2. 発表標題 13C02ラベリングと13C分布解析を用いた木部形成過程の研究
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Isogai
2. 発表標題 Disordered structures in plant cellulose microfibrils in terms of leveling-off DP and layer-by-layer surface peeling of microfibrils
3. 学会等名 The 235th American Chemical Society National Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野祐子, 齋藤継之, 磯貝 明
2. 発表標題 セルロース系試料のSEC/MALLS測定による分子量分布と構造解析
3. 学会等名 紙パルプ研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Isogai
2. 発表標題 SEC/MALLS analyses of cellulose, cellulose derivatives and chitin
3. 学会等名 European-Japanese Workshop on Cellulose and Functional Polysaccharides 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuko Ono, Tsuguyuki Saito, Akira Isogai
2. 発表標題 Branched structures of softwood cellulose molecules in high-molar-mass fraction revealed by SEC/MALLS/RI/UV analysis
3. 学会等名 The 255th American Chemical Society National Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	齋藤 継之 (Saito Tsuguyuki) (90533993)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授 (12601)	TEMPO酸化植物セルロース試料の調製と構造解析
研究分担者	堀川 祥生 (Horikawa Yoshiki) (90637711)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・特任准教授 (12605)	淡水の海藻で、陸上植物と同じく、約3 nm幅のセルロースマイクロフィブリルを有するシャジクモ由来のセルロースの単離・精製および構造解析