

Cellulase（セルラーゼ）酵素：植物繊維分解・バイオマス糖化・食品加工・繊維改質向け技術解説

Enzymes.bio リサーチチーム・ニュージーランド・ウェリントン・June 18, 2026

Cellulase（セルラーゼ）は、セルロースの β -1,4-グルカン鎖に作用し、植物細胞壁・綿繊維・紙繊維・リグノセルロース系バイオマスを分解または制御的に改質する酵素群です。実務上の価値は「セルロースを完全に溶かすこと」ではなく、繊維表面への吸着、鎖切断、糖化、抽出性・濾過性・加工性の改善を工程目的に合わせて起こす点にあります^[1]。

Enzymes.bioのCellulaseは、セルロース系原料を扱う食品加工、植物抽出、バイオマス糖化、繊維処理、紙・パルプ関連用途向けに、1kg単位でオンライン購入できる酵素製品です。Enzymes.bioは製造業者や研究所ではなく供給業者であり、注文時にはCoAとSDSが併せて提供されます。

Cellulaseとは：cellulase enzyme functionを工程言語で理解する

Cellulaseは単一酵素名として検索されることが多い一方、実際にはエンドグルカナーゼ、セロビオヒドロラーゼ、 β -グルコシダーゼなど複数の酵素成分が関与する「セルロース分解システム」として理解の方が正確です。エンドグルカナーゼはセルロース鎖の内部を切断して新しい鎖端を増やし、セロビオヒドロラーゼは鎖端からプロセッシングにセロビオースを放出し、 β -グルコシダーゼはセロビオースをグルコースへ変換して生成物阻害を緩和します^[2]。

セルロースはグルコースが β -1,4結合で連なった直鎖状高分子で、分子鎖間の水素結合によりミクロフィブリルを形成します。結晶性領域は水や酵素が入り込みにくく、非晶性領域や繊維表面、前処理で開いた部分から反応が進みやすいため、cellulase activityは「酵素そのもの」だけでなく、基質のアクセス性、結晶性、リグニン・ヘミセルロースの存在、機械的攪拌の影響を強く受けます^[1]。

検索語としては、cellulase enzyme、cellulase from aspergillus niger、trichoderma reesei cellulase、cellulase producing bacteria、cellulase novozymes、cellulase sigma、cellulase onozuka rs、cellulase r10 sigmaなどが混在します。これらは由来微生物名、研究用試薬名、企業名、製品名、文献上の酵素系を指す場合があります。B2B工程で重要なのは名称そのものより、対象基質と処理目的に対してどのようなセルロース分解・改質挙動を期待するかです^[3]。

セルロース分解の機序：吸着、切断、プロセスシビティ、生成物放出

セルロース表面への吸着が反応の起点になる

不溶性セルロースに対するセルラーゼ反応では、酵素が水中に溶けているだけでは十分ではなく、セルロース表面へ結合して触媒部位がグルカン鎖に近づく必要があります。セルラーゼ系では触媒ドメインと炭水化物結合モジュールが協調し、結晶性セルロース表面への局在化、鎖の捕捉、加水分解反応を支えます^[2]。

この吸着は常に有効とは限りません。リグニンを含むリグノセルロース系バイオマスでは、セルラーゼがセルロースではなくリグニンへ非生産的に吸着し、実際の糖化に使える酵素量が減ることがあります。全スラリー糖化におけるセルラーゼーリグニン相互作用の研究では、リグニン表面への非生産的結合が反応効率を下げる主要因として扱われています^[4]。

エンド型とエキソ型の分担が相乗効果を生む

セルロース鎖を内部から切るエンドグルカナーゼは、繊維表面や非晶性領域に切れ目を作り、セロビオヒドロラーゼが働くための鎖端を増やします。セロビオヒドロラーゼは鎖端に結合して連続的に加水分解を進めるため、両者が同時に働くことで単独成分より高い分解効率が得られます^[2]。

ただし、セルラーゼは「強ければよい」酵素ではありません。食品・飲料加工では細胞壁を緩めて搾汁や抽出を助けない一方、過度な分解で粘度やテクスチャーが変わりすぎることは避けたい場合があります。繊維加工では毛羽や表面の微細繊維を落としたい一方、生地強度や寸法安定性を保つ必要があるため、目的は完全分解ではなく制御的表面改質です^[3]。

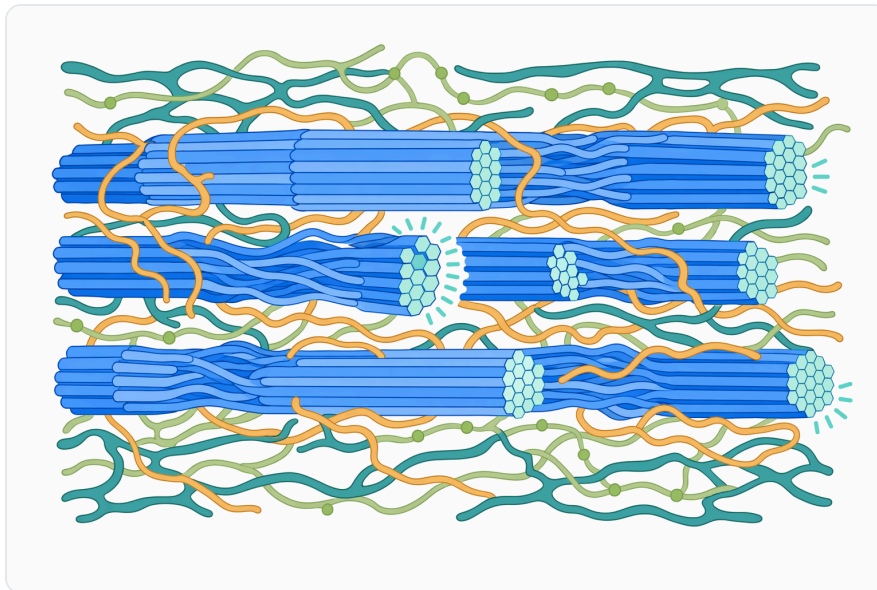


Figure 1. 셀룰로오스는 β -1,4-글루코스 사슬이 미세섬유로 촘촘히 배열되고, 혼합된 식물 세포벽 매트릭스 안에 묻혀 있는 경우가 많아 가공하기 어렵습니다.

β -グルコシダーゼは反応の詰まりを緩和する

セルロース分解では、セロビオヒドロラーゼが生成するセロビオースが蓄積すると、上流のセルラーゼ成分を阻害し得ます。 β -グルコシダーゼはセロビオースをグルコースへ変換し、セロビオース蓄積による阻害を緩和するため、糖化工程ではセルラーゼ混合系のバランスが重要になります^[5]。

ヘミセルロース由来の糖や可溶性オリゴ糖も、セルラーゼの結合様式、プロセッシビティ、基質表面電荷に影響して加水分解を阻害することがあります。つまり、セルロースだけを見て反応を設計するのではなく、実際の植物原料に含まれるキシラン、マンナン、リグニン、抽出成分まで含めて考える必要があります^[6]。

用途別に見るCellulaseの実務価値

用途領域	主な基質・工程課題	Cellulaseの主な働き	実務上の注意点
食品・飲料、植物抽出	果実、野菜、穀物、ハーブ、植物マッシュの細胞壁	細胞壁を緩め、搾汁、抽出、濾過、固液分離を助ける	ペクチン、ヘミセルロース、タンパク質など他成分も物性に影響する
バイオ燃料・糖化	前処理済みリグノセルロース、農業残渣、紙系廃材	セルロースを発酵可能糖へ変換する	リグニン吸着、生成物阻害、固形分負荷で反応が低下しやすい

用途領域	主な基質・工程課題	Cellulaseの主な働き	実務上の注意点
繊維加工	綿、デニム、セルロース系布地	毛羽低減、風合い調整、表面改質	機械的摩擦、液流、処理時間が仕上がりを左右する
紙・パルプ	古紙、紙繊維、パルプ繊維	繊維表面改質、糖化、リファイニング補助	過度な繊維切断は紙力低下につながり得る
飼料・植物繊維利用	植物性飼料原料、繊維質副産物	細胞壁の一部を分解し、繊維利用性を改善する	原料組成により反応性が大きく変わる

食品・飲料と植物抽出：細胞壁を緩めて処理性を上げる

果実、野菜、穀物、茶葉、ハーブなどの植物原料では、細胞壁が有用成分の放出、圧搾、抽出、濾過を妨げることがあります。セルラーゼはセルロース骨格に作用し、細胞壁マトリックスを部分的に緩めることで、植物組織の崩壊、液相への成分移行、固液分離のしやすさに寄与します^[3]。

ただし、植物細胞壁はセルロースだけで構成されるわけではありません。キシログルカンなどのヘミセルロースはセルロース表面と相互作用し、側鎖や分子量の違いによってセルロースとの結合性が変わることが示されています。したがって、セルラーゼ処理の結果は、ペクチナーゼやヘミセルラーゼを含む複合酵素系の有無、原料の成熟度、破碎状態にも影響されます^[7]。

バイオマス糖化：セルロースを発酵可能糖へ変換する

バイオエタノールやバイオ化学品の製造では、リグノセルロース系バイオマス中のセルロースをグルコースなどの発酵可能糖へ変える糖化工程が中心になります。トウモロコシ茎葉などのバイオマスを用いた同時糖化・共発酵の研究では、工業用セルラーゼの性能が高濃度エタノール生産の重要因子として扱われています^[8]。

高固形分糖化では、スラリー粘度、混合不良、酵素拡散の制限、生成糖の蓄積、リグニンへの非生産的吸着が重なり、初期反応後に速度が落ちやすくなります。アルカリ前処理サトウキビバガスの研究では、高固形分条件でアクセサリー酵素や添加剤、段階的供給の考え方が糖化効率改善に関連することが示されています^[9]。

膜分離と酵素糖化を組み合わせる研究も進められており、前処理リグノセルロース原料の加水分解において、糖化産物や阻害成分の制御が反応効率に影響することが検討されています。これは、セルラーゼ自体の能力だけでなく、反応系から何を除き、何を保持するかというプロセス設計が重要であることを示しています^[10]。

紙・古紙・パルプ：繊維を壊しすぎず反応性を高める

古紙や紙繊維はセルロースを多く含むため、セルラーゼによる糖化や繊維改質の対象になります。前処理した廃紙の酵素加水分解に関する研究では、廃紙が液体バイオ燃料生産向け原料になり得ること、前処理とセルラーゼ処理の組み合わせが糖化に重要であることが示されています^[11]。

Novozymes®酵素を用いた廃紙加水分解条件の研究では、廃紙のような再生セルロース系材料でも、酵素処理条件が糖生成に大きく影響することが扱われています。関連検索語としてcellulase novozymesが使われる背景には、こうしたバイオマス糖化研究で特定の工業用酵素系が参照されてきた文脈があります^[12]。

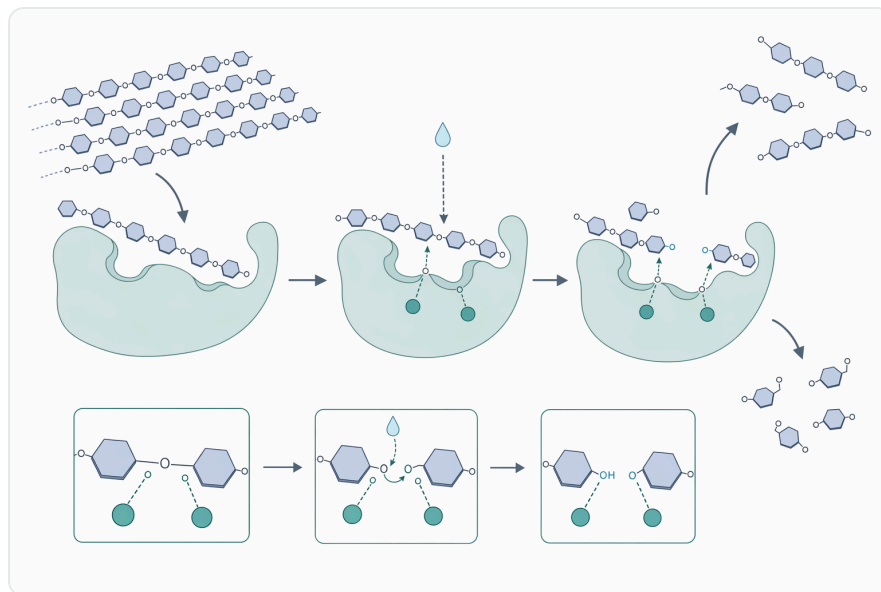


Figure 2. 셀룰라아제의 작용은 표면 결합, 내부 사슬 절단, 사슬 말단 처리, 짧은 조각을 포도당으로 전환하는 과정으로 진행됩니다.

紙・パルプ分野では、セルラーゼを強い分解剤としてではなく、繊維表面の反応性や排水性、リフティング挙動に影響する改質剤として捉える必要があります。深共晶溶媒によるセルロース繊維・紙特性の変化を扱った研究では、繊維の化学的・物理的な開き方が紙物性に影響することが示され、酵素処理でも同様に「アクセス性」と「繊維損傷」のバランスが重要になります^[13]。

繊維加工：綿・デニムの表面を制御的に改質する

綿やデニムはセルロース繊維で構成されるため、セルラーゼはバイオポリッシング、表面毛羽の低減、風合い調整、デニム洗いなどの加工で利用されます。真菌セルラーゼの産業応用レビューでは、繊維、洗剤、食品、飼料、バイオ燃料など複数分野での利用が整理されています^[3]。

繊維加工での結果は、cellulase activityだけで決まりません。酵素が微細繊維を弱めた後、機械的摩擦や液流が毛羽を除去するため、同じセルラーゼでも装置、浴比、攪拌、布地密度、染色状態によって仕上がりが変わります。リグノセルロース加水分解の研究でも、酵素、基質、界面活性剤、機械的条件の相互作用が反応効率に影響することが示されています^[14]。

飼料・農産副産物：植物繊維の利用性を高める

植物性飼料や農産副産物には、セルロース、ヘミセルロース、リグニンが複合した細胞壁構造が含まれます。セルラーゼはこの構造の一部を分解し、細胞壁に閉じ込められた栄養成分へのアクセス性を高める目的で使われます^[3]。

ただし、反芻動物用飼料、単胃動物用飼料、発酵飼料、農産副産物利用では、求める分解度や相互作用する内在性微生物が異なります。セルラーゼ単独で全ての繊維課題を解決するのではなく、キシラナーゼなどヘミセルロース分解酵素との相乗効果を考慮することが、複雑な植物細胞壁を扱う上で重要です^[15]。

セルラーゼの由来：真菌、細菌、酵母で何が違うか

真菌セルラーゼは、産業用セルラーゼ研究の中心的存在です。Trichoderma属やAspergillus属などは高いセルラーゼ生産性で知られ、関連検索語としてtrichoderma reesei cellulaseやcellulase from aspergillus nigerがよく使われます。真菌セルラーゼは、セルロース分解酵素群とヘミセルロース分解酵素群を組み合わせた複合的な加水分解に関係します^[3]。

Trichoderma longibrachiatumのセルラーゼ高生産変異株を対象にしたトランスクリプトーム・プロテオーム解析では、セルロース分解酵素制御に関わる遺伝子群が検討されています。これは、trichoderma reesei cellulaseのような検索語で見られる「Trichoderma由来セルラーゼ」への関心が、単なる由来表示ではなく、生産性、酵素組成、調節機構への関心と結び付いていることを示します^[16]。

細菌セルラーゼも重要です。Bacillus amyloliquefaciens株に関する研究では、セルラーゼ生産条件、遺伝子クローニング、発現、分子ドッキングが扱われており、細菌由来セルラーゼの探索と機能理解が進められています^[17]。

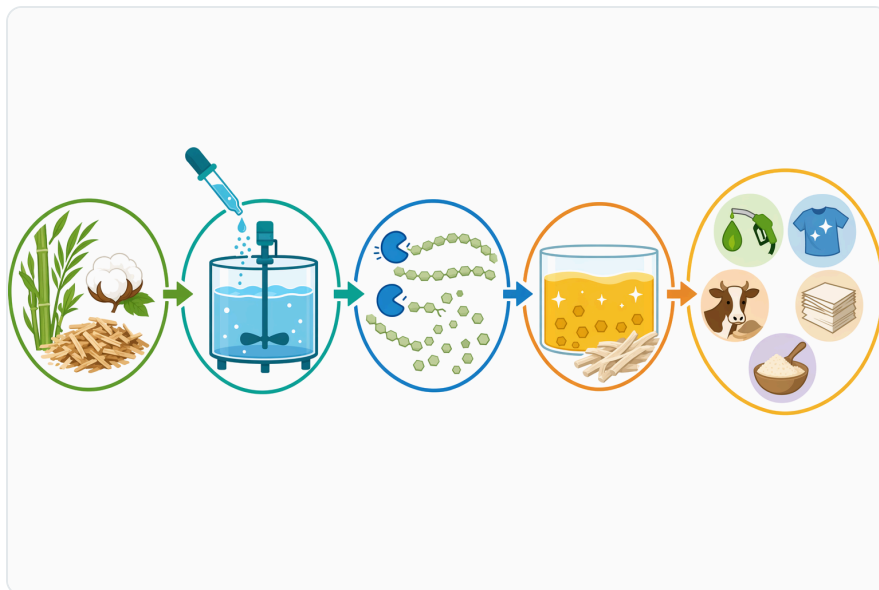


Figure 3. 면 소재의 바이오 폴리싱과 의류 관리에서 셀룰라아제는 표면의 미세섬유를 약화시켜, 기계적 작용으로 보풀을 제거할 수 있게 하면서도 섬유의 본체는 그대로 유지합니다.

また、森林土壌、牛糞、醸造関連環境、農産業廃棄物などからcellulase producing bacteriaを分離・特徴づける研究も報告されています。細菌セルラーゼは耐条件性や基質特異性の面で多様性を持つ可能性があり、将来的な産業応用候補として検討されています^[18]。

酵母由来のセルラーゼ・キシラナーゼも研究対象です。酵母のセルロース分解・キシラン分解酵素に関するレビューでは、酵素性質と産業応用が整理されており、真菌・細菌だけでなく酵母もバイオプロセス設計上の選択肢になり得ることが示されています^[19]。

CellulaseとXylanaseの相乗作用：セルロースだけを見ない理由

植物細胞壁では、セルロースミクロフィブリルがヘミセルロースやリグニンと複合体を作っています。キシランなどのヘミセルロースがセルロース表面を覆うと、セルラーゼがセルロース鎖にアクセスしにくくなるため、xylanaseとの併用が糖化効率や植物組織の崩壊に影響します^[15]。

セルラーゼとキシラナーゼの相乗作用は、単に「酵素を増やす」ことではありません。キシラナーゼがヘミセルロース障壁を緩め、セルラーゼが露出したセルロースに作用し、 β -グルコシダーゼが生成物阻害を抑えるという分担があるため、複合酵素系では各成分の役割と基質構造の対応関係が重要になります^[15]。

キャッサババガスのバイオ燃料利用に向けた多酵素カクテル最適化研究では、複数酵素の組み合わせが加水分解効率に関与することが扱われています。これは、農産副産物のようにデンプン残渣、セルロース、ヘミセルロースが混在する原料では、セルラーゼ単独より多酵素設計が合理的になる

場面があることを示しています[20]。

反応効率を左右する因子：基質アクセス性、リグニン、阻害物質

セルラーゼ処理で最初に見るべき要素は、セルロースが酵素に見えているかどうかです。膨潤処理によってセルロース繊維のアクセス性と反応性が変わることを扱った研究では、繊維内部へのアクセスが化学反応性に強く関係することが示されています。酵素反応でも同じく、基質表面が閉じていると反応は進みにくくなります[21]。

リグニンは、セルラーゼの反応を二重に妨げます。物理的にはセルロース表面を覆って酵素のアクセスを制限し、化学的には酵素を非生産的に吸着して有効酵素濃度を下げます。リグニン—セルラーゼ相互作用の構造的吸着・速度論モデルでは、添加剤やリグニン特性がセルラーゼの結合と反応性に影響することが検討されています[22]。

前処理由来の分解生成物も阻害要因になります。リグノセルロース分解産物が工業用セルラーゼへ与える阻害性能を調べた研究では、糖化中に存在する阻害性化合物がセルラーゼ活性を低下させ得ることが示されています[5]。

さらに、セルラーゼは反応中に失活することがあります。酵素—基質相互作用による活性低下と、温度・pH・界面・せん断など環境要因が組み合わさった失活を比較した研究では、活性低下が単一原因ではなく複数機構の合成結果であることが扱われています[23]。

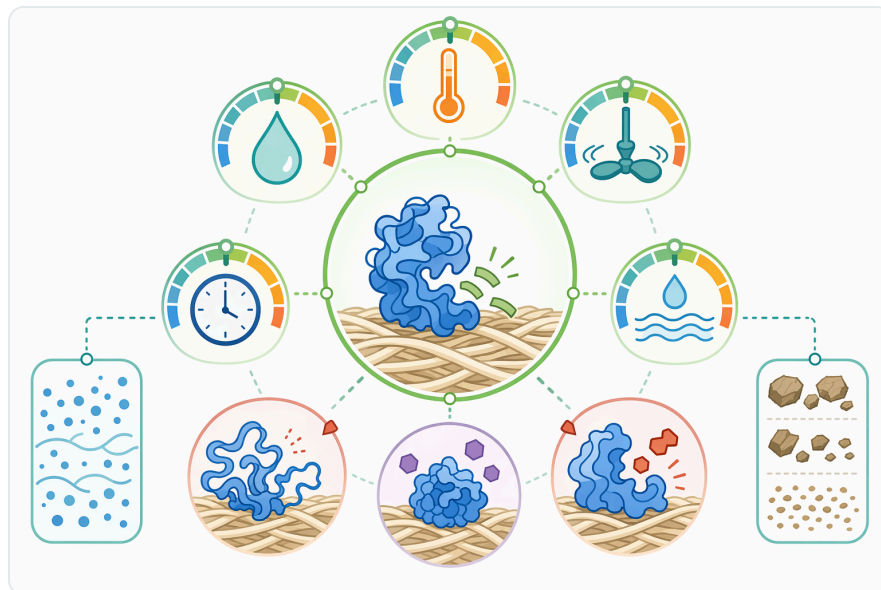


Figure 4. 셀룰라아제의 성능은 효소의 기원, 기질 접근성, pH, 온도, 물, 접촉 시간, 혼합, 그리고 육액 성분의 저해 또는 보조 효과에 따라 달라집니다.

関連検索語の整理：研究用語、ブランド名、消費者向け語が混在する

検索語	典型的な文脈	B2B用途での読み替え
cellulase / cellulase enzyme	一般的な酵素名	セルロース分解・繊維改質酵素群
cellulase activity	研究・品質・工程性能	工程での反応性を示す一要素。ただし基質と条件依存
cellulase from aspergillus niger	由来微生物を意識した検索	真菌由来セルラーゼへの関心
trichoderma reesei cellulase	バイオマス糖化・真菌酵素研究	Trichoderma系セルラーゼへの関心
cellulase producing bacteria	探索研究・微生物分離	細菌由来セルラーゼ候補の探索
cellulase novozymes	工業用酵素・文献検索	特定工業酵素系を用いた研究文脈
cellulase sigma / cellulase r10 sigma / cellulase onozuka rs	研究用試薬名検索	実験・論文・cellulase lab report文脈
cellulase supplement / cellulase gold / cellulase gold advanced	消費者向け製品検索	本稿の対象外。産業加工用セルラーゼとは用途が異なる
cellulase for bezoar	医療・消化関連検索	本稿の対象外。医療判断や摂取目的の説明ではない

cellulase lab reportという検索語では、研究室実験や教育実験の文脈でセルラーゼ反応が扱われることがあります。本稿は試験手順ではなく、産業工程でセルラーゼをどう理解するかに焦点を置いています。研究用試薬名や消費者向け名称と、食品加工・バイオマス・繊維・紙パルプ向けの産業用酵素は、目的、規格体系、使われる工程が異なるため混同しないことが重要です^[3]。

cellulase supplement、cellulase gold、cellulase gold advanced、cellulase for bezoarのような語は、消費者向けサプリメントや医療関連の検索意図を含む場合があります。Enzymes.bioのCellulaseは産業・加工用途を想定した酵素供給製品であり、摂取、治療、診断、医療用途を説明するものではありません。

Enzymes.bioにおけるCellulaseの位置づけ

Enzymes.bioはCellulaseを、セルロース系原料の分解、糖化、抽出補助、濾過性改善、繊維表面改質などに用いられる酵素として供給しています。製品は1kg単位でオンライン直接購入でき、オンライン注文に合わせてCoAとSDSが提供されます。

Enzymes.bioは製造業者でも研究所でもないため、ここでの技術説明は製造条件や研究室試験の提示ではなく、既存研究に基づいてセルラーゼの機能と産業用途を整理するものです。セルラーゼは工程全体の一要素であり、原料構造、前処理、pH領域、温度帯、接触時間、混合状態、阻害成分の影響を受けながら機能します^[2]。

まとめ：Cellulaseは「分解力」ではなく「制御されたセルロース改質」で評価する

Cellulaseは、セルロースを含む植物細胞壁、綿繊維、紙繊維、リグノセルロース系バイオマスに作用する酵素群です。エンドグルカナーゼ、セロビオヒドロラーゼ、 β -グルコシダーゼなどが相補的に働き、セルロース表面への吸着、鎖切断、生成物放出を通じて、糖化、抽出、濾過、繊維表面改質を支えます^[2]。

産業工程での効果は、酵素名だけで決まりません。セルロースの結晶性、ヘミセルロース被覆、リグニン吸着、阻害性分解物、機械的せん断、固形分濃度などが反応効率を左右します。そのため、Cellulaseは「万能な分解剤」ではなく、セルロース構造を目的に合わせて制御的に変える生体触媒として理解するのが最も実務的です^[4]。

Enzymes.bioのCellulaseは、こうしたセルラーゼ機能を産業用途で利用するための供給製品です。食品加工、植物抽出、バイオマス糖化、繊維処理、紙・パルプ関連用途など、セルロース系原料を扱う工程で、1kg単位のオンライン購入により導入できます。

Cellulaseをオンライン注文

1 kg単位で販売、在庫あり・即出荷可能です。オンラインストアで直接ご注文・決済いただければ、当社でご注文を処理します。すべてのご注文に試験成績書（CoA）と安全データシート（SDS）が付属します。

Cellulaseを購入 →

参考文献

初出引用順に番号を付けています。各出典はオープンアクセスで、公開時にアクセス可能であることを確認済みです。本文中の引用番号からこちらにリンクしています。

1. Brown, R. D., & Jurasek, L. (1979). Hydrolysis of cellulose: mechanisms of enzymatic and acid catalysis.
2. Lee, I., Evans, B., Lane, L., & Woodward, J. (1996). Substrate-enzyme interactions in cellulase systems. *Bioresource Technology*, 58, 163-169.
3. Singh, A., Bajar, S., Devi, A., & Pant, D. (2021). An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100652.
4. Liu, H., Sun, J., Leu, S., & Chen, S. (2016). Toward a fundamental understanding of cellulase - lignin interactions in the whole slurry enzymatic saccharification process. *Biofuels*, 10.
5. Jing, X., Zhang, X., & Bao, J. (2009). Inhibition Performance of Lignocellulose Degradation Products on Industrial Cellulase Enzymes During Cellulose Hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 159, 696-707.
6. Zhai, R., Hu, J., & Saddler, J. (2017). The inhibition of hemicellulosic sugars on cellulose hydrolysis are highly dependant on the cellulase productive binding, processivity, and substrate surface charges. *Bioresource Technology*, 258, 79-87 .
7. Lima, D. U., Loh, W., & Buckeridge, M. (2004). Xyloglucan-cellulose interaction depends on the sidechains and molecular weight of xyloglucan. *Plant physiology and biochemistry : PPB*, 42 5, 389-94 .
8. Zhang, Q., & Bao, J. (2017). Industrial cellulase performance in the simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of corn stover for high-titer ethanol production. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 1-7.
9. Xu, C., Zhang, J., Zhang, Y., Guo, Y., Xu, H., Xu, J., & Wang, Z. (2019). Enhancement of high-solids enzymatic hydrolysis efficiency of alkali pretreated sugarcane bagasse at low cellulase dosage by fed-batch strategy based on optimized accessory enzymes and additives. *Bioresource Technology*, 292, 121993 .
10. Dąbkowska-Suszał, K., Antczak, A., Akus-Szylberg, F., & Zawadzki, J. (2025). Enzymatic hydrolysis of pretreated lignocellulosic feedstocks improved by membrane separation. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements*.
11. Brummer, V., Juřena, T., Hlavacek, V., Omelková, J., Bébar, L., Gabriel, P., & Stehlík, P. (2014). Enzymatic hydrolysis of pretreated waste paper—source of raw material for production of liquid biofuels. *Bioresource Technology*, 152, 543-7 .
12. Brummer, V., Skryja, P., Juřena, T., Hlavacek, V., & Stehlík, P. (2014). Suitable Technological Conditions for Enzymatic Hydrolysis of Waste Paper by Novozymes® Enzymes NS50013 and NS50010. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174, 1299-1308.
13. Mnasri, A., Dhaouadi, H., Khiari, R., Halila, S., & Mauret, É. (2022). Effects of Deep Eutectic Solvents on cellulosic fibres and paper properties: Green "chemical" refining. *Carbohydrate Polymers*, 292, 119606 .

14. Lee, S., Akeprathumchai, S., Bundidamorn, D., Salaipeth, L., Poomputsa, K., Ratanakhanokchai, K., Chang, K., ... et al. (2021). Interplays of enzyme, substrate, and surfactant on hydrolysis of native lignocellulosic biomass. *Bioengineered*, 12, 5110 - 5124.
15. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
16. Dong, M., Wang, S., Xu, F., Xiao, G., Bai, J., Wang, J., & Sun, X. (2022). Integrative transcriptome and proteome analyses of *Trichoderma longibrachiatum* LC and its cellulase hyper-producing mutants generated by heavy ion mutagenesis reveal the key genes involved in cellulolytic enzymes regulation. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 15.
17. El-Khamisi, E. F., Soliman, E., El-Sayed, G., Nour, S., Abdel-Monem, M. O., & Hassan, M. G. (2024). Optimization, gene cloning, expression, and molecular docking insights for enhanced cellulase enzyme production by *Bacillus amyloliquefaciens* strain elh1. *Microbial Cell Factories*, 23.
18. Demissie, M., Legesse, N., & Tesema, A. A. (2024). Isolation and characterization of cellulase producing bacteria from forest, cow dung, Dashen brewery and agro-industrial waste. *PLoS ONE*, 19.
19. Sohail, M., Barzkar, N., Michaud, P., Jahromi, S. T., Babich, O., Sukhikh, S., Das, R., ... et al. (2022). Cellulolytic and Xylanolytic Enzymes from Yeasts: Properties and Industrial Applications. *Molecules*, 27.
20. Egharevba, I. P., Salau, H., Omonedo, M., & Ogbeide, S. (2025). Optimizing Enzyme Synergy in the Hydrolysis of Cassava Bagasse for Biofuel Production using Multi-Enzyme Cocktails. *Nipes journal of Energy Technology and Environment*.
21. Bui, H., Lenninger, M., Manian, A., Abu-Rous, M., Schimper, C. B., Schuster, K., & Bechtold, T. (2008). Treatment in Swelling Solutions Modifying Cellulose Fiber Reactivity -Part 2. Accessibility and Reactivity. *Macromolecular Symposia*, 262, 39-49.
22. Ka-Chan, Ko, C., Chang, K., & Leu, S. (2021). Construction of a structural enzyme adsorption/kinetics model to elucidate additives associated lignin-cellulase interactions in complex bioconversion system. *Biotechnology and Bioengineering*, 118, 4065 - 4075.
23. Ye, Z., Hatfield, K. M., & Berson, R. E. (2014). Relative extents of activity loss between enzyme-substrate interactions and combined environmental mechanisms. *Bioresource Technology*, 164, 143-8.

Enzymes.bioへお問い合わせ

ご注文に関するご質問は、当社チームが喜んでサポートします。

メール wholesale@enzymes.bio

電話（米国） **+1 (507) 428-6057**

[お問い合わせ →](#)

 **400+** B2B顧客

 **60+** 大学研究パートナー

 **54** 世界各国に供給