

# Glucoamylase（グルコアミラーゼ）の用途：デンプン糖化・発酵・グルコースシロップ・バイオエタノール向け酵素

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

Glucoamylase（グルコアミラーゼ）は、デンプン、デキストリン、マルトオリゴ糖の非還元末端からグルコースを順次放出するエキソ型の糖質加水分解酵素です。主な glucoamylase application は、デンプン糖化、グルコースシロップ製造、醸造・蒸留、発酵原料調製、バイオエタノール工程であり、液化後に残るデキストリンを発酵可能な糖へ近づける場面で使われます [1]。Enzymes.bioでは、Glucoamylaseを1 kg単位でオンライン購入できる供給品として扱い、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。

## Glucoamylaseとは何か：デンプン鎖の末端からグルコースを切り出す酵素

Glucoamylaseは、EC 3.2.1.3に分類される糖質加水分解酵素で、アミログルコシダーゼ、amyloglucosidaseとも呼ばれます。酵素としての中心的な特徴は、デンプンやデキストリンの糖鎖内部を無作為に切断するのではなく、非還元末端からグルコース単位を外していくことです。このため、 $\alpha$ -アミラーゼのように粘度低下や液化に強く関与する酵素とは役割が異なり、グルコース生成を進める「糖化」段階で重要になります [2]。

デンプンは、主に直鎖状のアミロースと分岐状のアミロペクチンから構成されます。アミロースでは $\alpha$ -1,4結合が連続し、アミロペクチンでは $\alpha$ -1,4結合の鎖に $\alpha$ -1,6分岐が加わります。Glucoamylaseは主として $\alpha$ -1,4結合を末端側から加水分解し、酵素や由来によっては $\alpha$ -1,6分岐点にも限定的に作用しますが、分岐構造が多い基質では反応の進み方が基質構造に左右されます [1]。

検索語として見られる「maltase glucoamylase」は、消化管の刷子縁酵素を指す文脈で使われることがあります。一方、食品加工、発酵、糖化液製造、バイオ燃料用途で一般に扱われる glucoamylaseは、微生物由来酵素を中心に語られることが多く、産業的にはAspergillus属やRhizopus属などに由来するグルコアミラーゼ研究が蓄積されています [2]。

## 作用機序：なぜ「液化後の糖化」に向くのか

Glucosylaseの作用を工程目線で見ると、「長いデンプン鎖を短くする」よりも、「すでに短くなったデキストリンをグルコースへ近づける」働きが実務上の中心になります。 $\alpha$ -アミラーゼなどでデンプンの内部結合が切断されると、糖鎖の末端数が増えます。Glucosylaseはその末端を起点にグルコースを放出するため、液化やデキストリン化によってアクセス可能な末端が増えた状態では、糖化工程に組み込みやすくなります [1]。

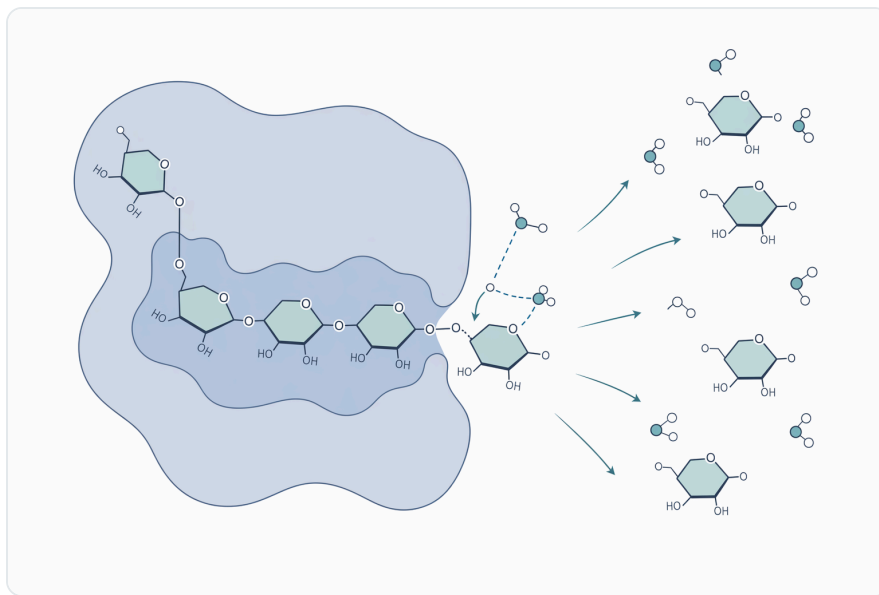


Figure 1. 글루코아밀레이스는 전분 유래 사슬의 비환원 말단에서 포도당 단위를 방출하는 외부 작용 효소이다.

酵素学的には、Glucosylaseはエキソ作用性の加水分解酵素として説明されます。反応では水が関与し、糖鎖末端のグリコシド結合が切断され、グルコースが生成します。古典的な糖質加水分解研究では、グルコアミラーゼがグルコシル基の転移・加水分解挙動を通じて基質の立体化学を反映することが示されており、単に「デンプンを溶かす酵素」ではなく、結合様式と糖鎖末端を認識する酵素として理解すべきです [3]。

多くの微生物Glucosylaseでは、触媒ドメインに加えてデンプン結合ドメインを持つ構造が重要です。Rhizopus oryzae由来グルコアミラーゼのデンプン結合ドメインに関する結晶構造研究では、CBM21ファミリーの多糖結合機構が解析され、イソマルトオリゴ糖との複合体から基質認識の手がかりが示されています。これは、酵素が単に溶液中の糖鎖を待つのではなく、デンプン様基質表面への結合を通じて反応位置を確保することを示します [4]。

この結合と触媒の組み合わせが、顆粒状デンプンや不完全に糊化した基質で反応が遅くなる理由にも関係します。滑らかな表面を持つ顆粒デンプンでは、酵素が結合しても有効な切断点へ到達しにくい場合があり、界面での反応速度論が酵素抵抗性の説明に使われています。つまり、糖化効率は

酵素そのものだけでなく、デンプン表面、粒子構造、糊化状態、前処理の影響を受けます [5]。

## 産業用途における Glucoamylase の位置づけ

### デンプン糖化とグルコースシロップ

Glucoamylase の代表的な用途は、トウモロコシ、小麦、米、キャッサバ、ジャガイモなどのデンプン質原料から、グルコースを主成分とする糖化液を得る工程です。一般的な流れでは、デンプンを加熱・液化して粘度を下げ、デキストリン化した後に Glucoamylase で末端からグルコース生成を進めます。微生物グルコアミラーゼのレビューでは、グルコースシロップや関連糖化工程への応用が主要な産業利用として整理されています [2]。



Figure 2. 알파-아밀레이스, 글루코아밀레이스, 풀룰라네이스는 전분의 서로 다른 위치나 결합을 표적으로 하므로 전분 전환 과정에서 상호 보완적인 역할을 한다.

グルコースシロップ用途で重要なのは、単に糖濃度を上げるのではなく、糖組成を工程目的に合わせてことです。Glucoamylase はデキストリンやマルトオリゴ糖をグルコース側へ寄せるため、甘味、発酵性、後続反応への適性を調整しやすくします。フルクトースシロップ工程では、グルコース生成後に異性化が続く場合があり、Glucoamylase はその前段の糖化に関与します [1]。

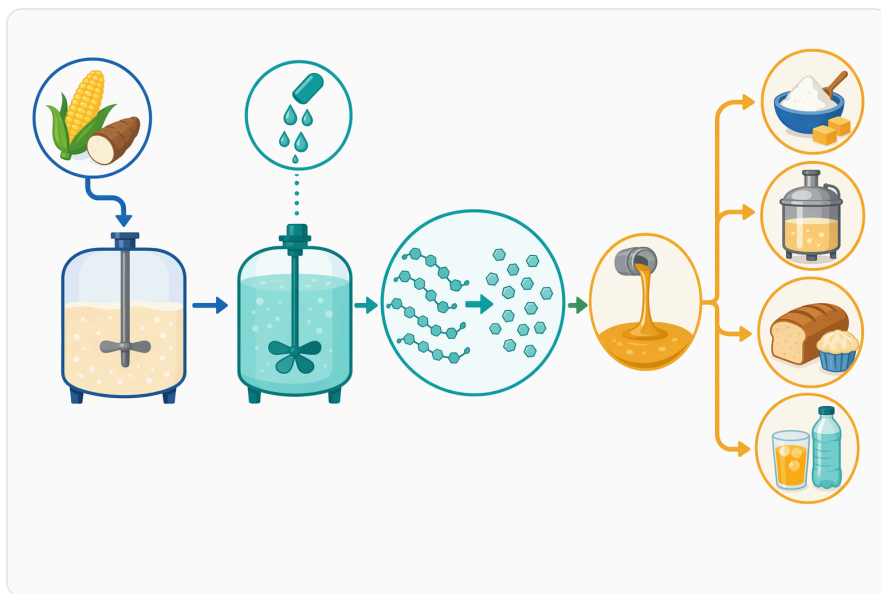
### 醸造・蒸留・発酵原料の調製

醸造や蒸留では、デンプン質原料を酵母が利用可能な糖に変えることが発酵設計の中心です。Glucoamylase は、液化後に残るデキストリンをさらに分解し、発酵可能なグルコースの供給に寄与します。特に残糖を抑えたい設計、ドライな発酵特性を求める設計、デンプン副原料を利用する工程では、glucoamylase application として自然に検討されます [6]。

ただし、Glucoamylaseを加えれば常に同じ発酵結果になるわけではありません。原料デンプンの由来、糊化の程度、液化で生成したデキストリン分布、タンパク質や脂質などの共存成分、酵母株の糖利用性によって、発酵速度や最終糖組成は変わります。したがって、Glucoamylaseは「発酵を直接進める酵素」ではなく、「発酵しやすい糖組成をつくるための糖化酵素」と位置づけるのが正確です [2]。

## バイオエタノールとデンプン質バイオマス

バイオエタノール製造では、糖をエタノールへ変換する微生物発酵の前に、デンプン質原料をグルコースなどの発酵可能糖へ変える必要があります。近年の研究でも、サツマイモ残渣からのバイオエタノール生産に向け、 $\alpha$ -アミラーゼとGlucoamylase遺伝子を高コピーで組み込んだ *Saccharomyces cerevisiae*株の構築が報告されており、デンプン分解能力と発酵能力を一体化する方向が検討されています [7]。



**Figure 3.** 일반적인 전분 처리 공정은 전분을 효소가 접근하기 쉬운 상태로 만들고, 이를 덱스트린으로 액화한 뒤 글루코아밀레이스를 사용해 덱스트린을 포도당으로 당화한다.

より広いバイオ燃料分野では、酵素糖化は前処理・加水分解・発酵をつなぐ重要な段階です。バイオ燃料生産に関するレビューでは、代謝工学、酵素変換、発酵プロセスが相互に関係することが整理されており、Glucoamylaseのような糖化酵素はデンプン系資源を微生物が利用できる炭素源へ変換する役割を担います [8]。

## 食品加工における糖組成と物性制御

食品加工では、デンプンを糖化する目的が発酵だけに限りません。甘味基材、保湿性、褐変反応への寄与、粘度調整、口当たり、加工安定性など、糖組成の違いが製品品質に影響します。食品産業における酵素技術のレビューでは、酵素が分子レベルの特異性を利用して食品成分を変換し、品質と持続可能性の両面で利用されることが論じられています [6]。

Glucoamylaseの場合、主な変換対象はデンプン由来のオリゴ糖です。α-アミラーゼが内部切断により粘度低下とデキストリン化を進めるのに対し、Glucoamylaseは末端からグルコースを増やすため、同じ「アミラーゼ系酵素」でも最終糖組成に対する作用が異なります。この違いを理解すると、食品・発酵工程で酵素を組み合わせる理由が明確になります [1]。

## Glucoamylaseと関連酵素の役割比較

デンプン加工では、複数の酵素が同時または段階的に使われることがあります。Glucoamylaseを正しく位置づけるには、α-アミラーゼ、プルラナーゼ、マルトース生成型酵素などと比較し、どの結合をどのように処理するかを分けて考える必要があります。



Figure 4. 글루코아밀레이스는 전분 유래 탄수화물의 추가 가수분해가 필요한 증류, 양조, 바이오에탄올, 식품 가공, 제빵, 사료, 제지 및 잔류물 고부가가치화 분야 전반에서 사용된다.

酵素・酵素群	主な作用点	工程上の役割	Glucoamylaseとの関係
α-アミラーゼ	デンプン鎖内部のα-1,4結合	液化、粘度低下、デキストリン生成	Glucoamylaseが作用する末端を増やし、後段糖化を助ける

酵素・酵素群	主な作用点	工程上の役割	Glucoamylaseとの関係
Glucoamylase	非還元末端側の $\alpha$ -1,4結合、由来により分岐点にも限定的作用	グルコース生成、糖化度向上、発酵性糖の供給	液化後デキストリンをグルコースへ近づける中心酵素
プルラーナーゼ等の脱分岐酵素	$\alpha$ -1,6分岐結合	分岐構造をほどこき、直鎖状基質を増やす	アミロペクチン由来デキストリンの糖化を補助し得る
マルトース生成型酵素	主にマルトース単位の生成	マルトース主体の糖組成設計	グルコース主体に寄せる Glucoamylaseとは目的糖が異なる

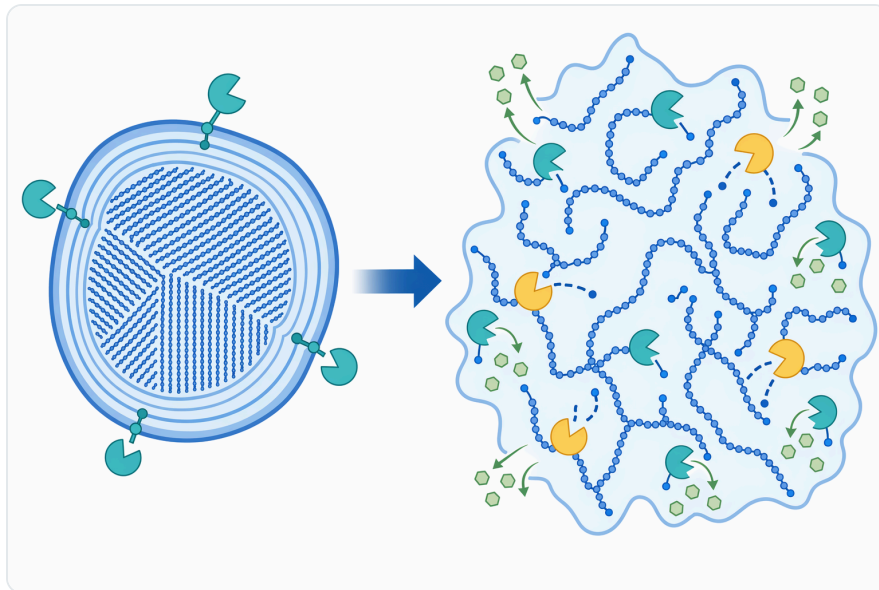
この比較で重要なのは、Glucoamylaseが「液化酵素」ではなく「糖化酵素」として働く点です。デンプン粒子が十分に開いていない、または高分子状態のまま残っている場合、Glucoamylaseだけで短時間に目的糖組成へ到達することは難しくなります。実務上は、基質のアクセス性を高める前処理と、末端からグルコースを放出するGlucoamylaseの組み合わせで反応設計を考えます [9]。

## 基質アクセス性：糊化、顆粒表面、物理処理が反応を左右する

デンプン糖化では、酵素が基質に接触できるかどうかは速度と収率に直結します。生デンプン顆粒は結晶性領域と非晶性領域を持ち、酵素が自由に内部へ入れるわけではありません。表面加水分解の研究では、Glucoamylaseによる生デンプンの分解が界面反応として扱われ、粒子表面での吸着や切断点の利用可能性が反応を制限することが示されています [9]。

超音波処理を組み合わせたデンプン酵素加水分解の研究では、超音波がデンプン構造や酵素反応環境に影響し、加水分解挙動を変えることが検討されています。これは、Glucoamylaseの機能を理解するうえで、酵素分子だけでなく基質側の構造変化が重要であることを示します [10]。

米多孔質デンプンに関する研究では、高速せん断と二段階酵素加水分解が構造・物理化学特性に影響することが報告されています。多孔化や表面積の増加は、酵素が作用できる部位を増やす可能性があり、糖化速度や吸着特性に関わります。ただし、こうした物理処理の効果は原料と工程条件に依存するため、Glucoamylase単独の性質として一般化するのは適切ではありません [11]。



**Figure 5.** 기질 접근성은 글루코아밀레이스의 성능에 큰 영향을 미치는데, 생전분 과립은 호화되거나 액화된 전분보다 효소가 공격할 수 있는 지점이 적기 때문이다.

さらに、コーンスターチのGlucoamylase加水分解に中程度電場を組み合わせた研究では、電気泳動効果や分極効果が反応に関与する可能性が検討されています。このような研究は、酵素糖化の速度がpHや温度だけで決まるのではなく、基質分散、界面状態、物理場によっても変化し得ることを示しています [12]。

## 固定化・再利用の研究動向と産業的意味

酵素固定化は、酵素の再利用、安定性向上、連続処理への適用を目指して研究されてきました。Glucoamylaseについても、磁性カーボンナノチューブと酸化鉄を用いたamyloglucosidase固定化研究が報告され、バイオ燃料生産プロセスにおける再利用可能性が検討されています [13]。

食品産業でも、ナノ材料上への酵素固定化や固定化酵素の応用は注目されています。近年のレビューでは、固定化により酵素の操作性、安定性、再利用性を改善し得る一方、食品用途では担体の安全性、反応中の物質移動、コスト、スケールアップが重要な論点になると整理されています [14]。

ただし、固定化研究の成果をそのまま通常のGlucoamylase粉末・液体製品の使用条件へ置き換えることはできません。固定化では、酵素の向き、担体との相互作用、基質拡散、反応液の粘度などが遊離酵素と異なります。したがって、固定化に関する知見は「将来の工程設計・プロセス強化の方向性」として有用ですが、Enzymes.bioがオンライン供給するGlucoamylaseの説明では、製造業者のような固定化仕様や工程保証として扱うべきではありません [15]。

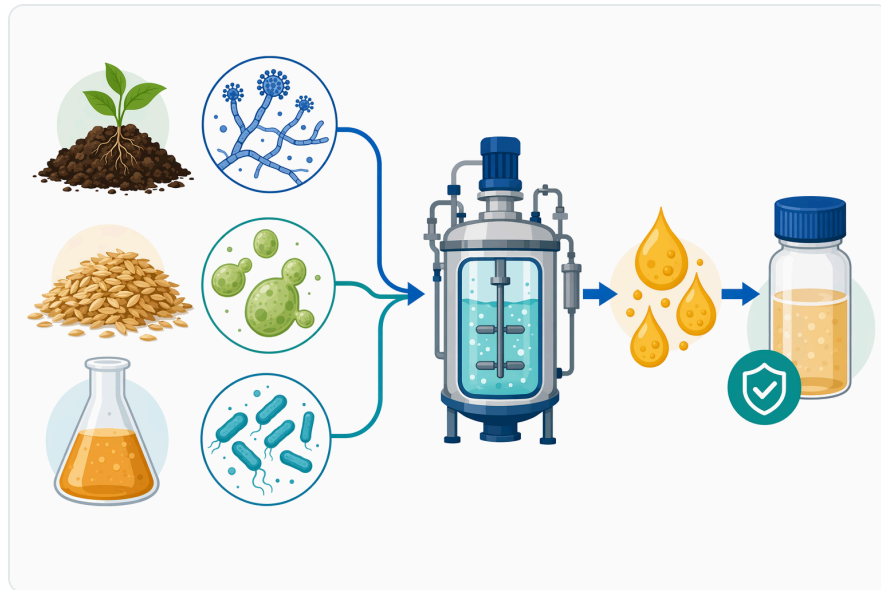


Figure 6. 상업용 및 연구용 글루코아밀레이스는 생산 효율성과 공정 내성에서 차이를 보이는 다양한 곰팡이 및 세균 유래 효소로 구성된다.

## 原料別に見たGlucoamylase applicationの考え方

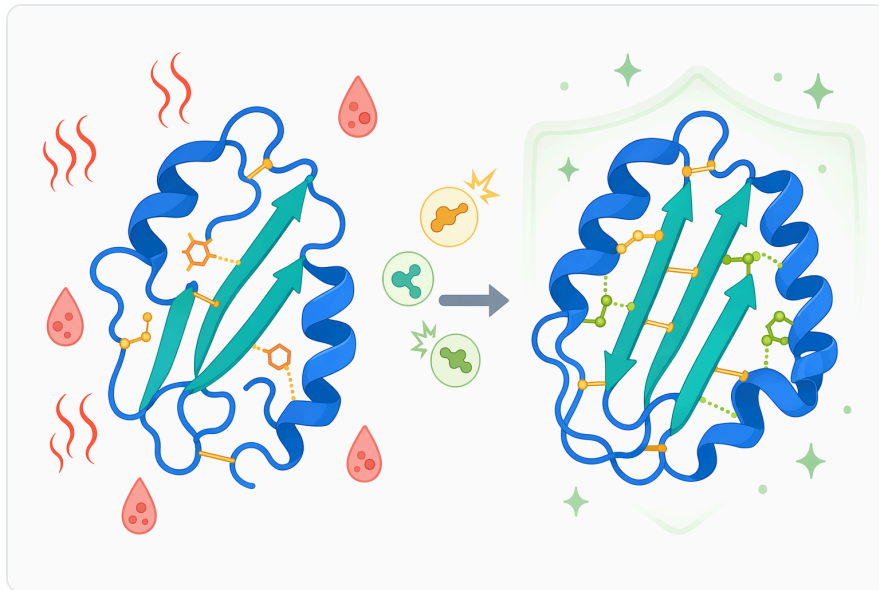
トウモロコシや小麦のような穀類デンプンでは、粒子構造、タンパク質マトリックス、脂質との複合体が糖化に影響します。米デンプンでは品種や加工履歴により糊化特性が異なり、キャッサバやジャガイモでは粒径やリン酸基などが加工特性に関係します。Glucoamylaseは同じ「デンプン糖化酵素」であっても、原料ごとの構造差によって反応の見え方が変わります [5]。

発酵副産物や農産残渣を使う場合は、デンプン以外の成分も重要です。サツマイモ残渣を用いたバイオエタノール研究では、デンプン分解酵素と発酵微生物の設計が組み合わされており、残渣系原料では糖化と発酵の両面を考える必要が示されています [7]。

一方、リグノセルロース系原料では、Glucoamylaseはセルロースやヘミセルロースを主対象とする酵素ではありません。藁や植物繊維の糖化ではセルラーゼ、ヘミセルラーゼ、セルロソーム関連酵素などが主役になります。デンプン質バイオマスとリグノセルロース系バイオマスでは、糖化に必要な酵素群が異なるため、Glucoamylaseの適用範囲を過度に広げて理解しないことが重要です [16]。

## 工程で期待できる効果と、過大評価すべきでない点

Glucoamylaseに期待できる主な効果は、デキストリンやマルトオリゴ糖をグルコースへ変換し、糖化液の発酵性やグルコース比率を高めることです。液化後の残存デキストリンを減らす、発酵前の糖組成を整える、グルコースシロップの前段糖化を担う、といった用途では作用機序と工程目的が一致します [2]。



**Figure 7.** 단백질 공학은 고온, 산성 또는 장시간 체류가 필요한 공정 조건에서도 글루코아밀레이스의 접힘 구조와 활성 부위 기하 구조를 유지하는 것을 목표로 한다.

一方で、Glucoamylaseは万能な前処理剤ではありません。未糊化デンプン、結晶性の高い顆粒、脂質やタンパク質で保護されたデンプン、分岐の多いデキストリンでは、酵素アクセスや分岐構造が制約になります。グルコース生成速度は、酵素の種類だけでなく、原料の物理構造、液化の程度、温度履歴、水分、攪拌、反応時間に左右されます [9]。

また、Glucoamylaseはグルコースを生成するため、食品や発酵工程では甘味、浸透圧、褐変反応、酵母代謝に影響します。例えば、発酵可能糖が増えることは発酵効率に有利に働く場合がありますが、食品加工では過度なグルコース生成が色調や風味に影響する可能性もあります。したがって、用途理解では「糖を増やす」ではなく「どの糖を、どの工程段階で増やすか」を考える必要があります [6]。

## Enzymes.bioでの供給形態と文書の位置づけ

Enzymes.bioは、Glucoamylaseを1 kg単位でオンラインから直接購入できる酵素製品として供給します。注文処理と配送はオンライン購入に基づいて行われ、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。Enzymes.bioは製造業者または研究所ではなく、産業用途向け酵素をオンラインで供給するサプライヤーです。

この文書の目的は、Glucoamylaseの機能、作用機序、用途範囲をB2B実務者が理解できるよう整理することです。そのため、製造工程、菌株開発、実験手順、分析法の詳細、活性単位の定義、個別グレードの比較ではなく、公開研究に基づく用途理解に重点を置いています。Glucoamylaseは確立

されたデンプン糖化酵素ですが、最終的な工程成果は原料、前処理、併用酵素、反応設計に依存します [1]。

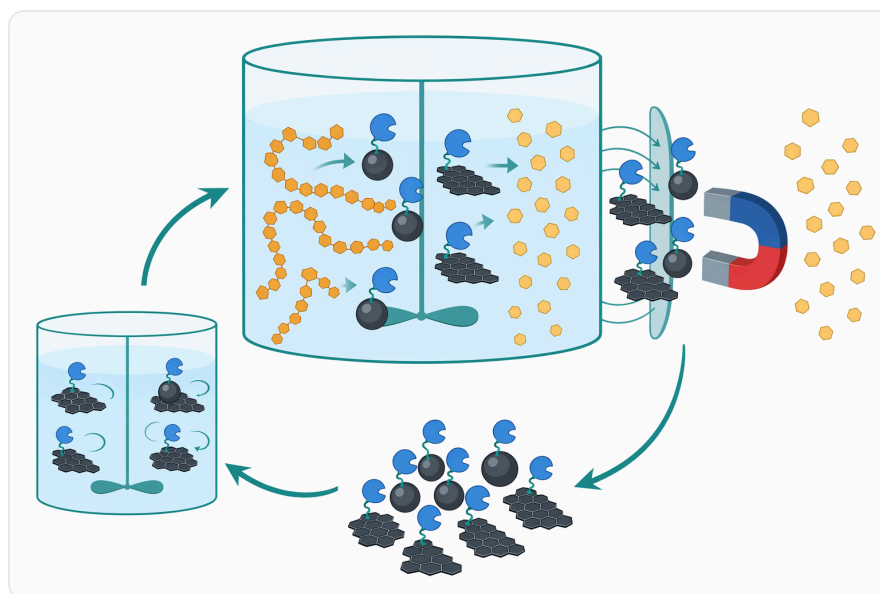


Figure 8. 고정화는 글루코아밀레이스를 고체 지지체에 부착시켜 효소를 더 쉽게 분리하고 재사용할 수 있게 한다.

## まとめ：Glucoamylaseは「デンプンを発酵可能なグルコースへ近づける」糖化酵素

Glucoamylaseは、デンプン、デキストリン、マルトオリゴ糖の非還元末端からグルコースを放出する酵素であり、デンプン糖化、グルコースシロップ、醸造・蒸留、発酵原料、バイオエタノールなどの用途で重要です。α-アミラーゼが液化と粘度低下を担うのに対し、Glucoamylaseは液化後のデキストリンをグルコースへ近づける役割を担います [2]。

科学的には、微生物Glucoamylaseの構造、基質認識、デンプン結合ドメイン、表面加水分解、固定化、物理処理との組み合わせに関する研究が蓄積されています。これらの研究は、Glucoamylaseの価値が酵素分子単体だけでなく、基質構造と工程設計との相互作用によって決まることを示しています [4]。

Enzymes.bioのGlucoamylaseは、デンプン糖化や発酵関連工程を検討するB2B用途向けに、1 kg単位でオンライン購入できる供給品です。注文時にはCoAおよびSDSが提供され、製品情報は実務上の用途理解を支援するために整理されています。

## Glucoamylase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。

[Glucoamylase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. James, J., & Byong-Lee (1997). GLUCOAMYLASES: MICROBIAL SOURCES, INDUSTRIAL APPLICATIONS AND MOLECULAR BIOLOGY — A REVIEW. *Journal of Food Biochemistry*, 21, 1-52.
2. Kumar, P., & Satyanarayana, T. (2009). Microbial glucoamylases: characteristics and applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29, 225 - 255.
3. Kitahata, S., Brewer, C., Genghof, D. S., Sawai, T., & Hehre, E. (1981). Scope and mechanism of carbohydrase action. Stereocomplementary hydrolytic and glucosyl-transferring actions of glucoamylase and glucodextranase with alpha- and beta-D-glucosyl fluoride.. *Journal of Biological Chemistry*, 256 12, 6017-26 .
4. Chu, C., Li, K., Lin, S., Chang, M., Jiang, T., & Sun, Y. (2014). Crystal structures of starch binding domain from Rhizopus oryzae glucoamylase in complex with isomaltooligosaccharide: Insights into polysaccharide binding mechanism of CBM21 family. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 82.
5. Wang, Y., Tian, Y., Li, Z., Kirkensgaard, J., Svensson, B., & Blennow, A. (2024). Interfacial kinetics reveal enzymatic resistance mechanisms behind granular starch with smooth surfaces. *Food Bioscience*.
6. Siddikey, F., Jahan, M. I., Hormoni, Hasan, M., Nishi, N. J., Hasan, S., Rahman, N., ... et al. (2025). Enzyme Technology in the Food Industry: Molecular Mechanisms, Applications, and Sustainable Innovations. *Food Science & Nutrition*, 13.
7. Wang, X., Guo, N., Hu, J., Gou, C., Xie, X., Zheng, H., Liao, A., ... et al. (2024). Construction of an amyolytic Saccharomyces cerevisiae strain with high copies of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase genes integration for bioethanol production from sweet potato residue. *Frontiers in Microbiology*, 15.
8. Singhal, G., Verma, V., Bhagyawant, S., & Srivastava, N. (2020). Production of biofuel through metabolic engineering: Processing, types, and applications.
9. Tatsumi, H., & Katano, H. (2005). Kinetics of the surface hydrolysis of raw starch by glucoamylase.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 21, 8123-7 .

10. Wang, D., Hou, F., Ma, X., Chen, W., Yan, L., Ding, T., Ye, X., ... et al. (2020). Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects. *International Journal of Biological Macromolecules*.
11. Xiao, W., He, H., Dong, Q., Huang, Q., An, F., & Song, H. (2023). Effects of high-speed shear and double-enzymatic hydrolysis on the structural and physicochemical properties of rice porous starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123692 .
12. Li, D., Wu, Z., Wang, P., Xu, E., Cui, B., Yong-Han, & Tao, Y. (2022). Effect of moderate electric field on glucoamylase-catalyzed hydrolysis of corn starch: roles of electrophoretic and polarization effects. *Food Hydrocolloids*, 122, 107120.
13. Goh, W. J., Makam, V. S., Hu, J., Kang, L., Zheng, M., Yoong, S., Udalagama, C., ... et al. (2012). Iron oxide filled magnetic carbon nanotube-enzyme conjugates for recycling of amyloglucosidase: toward useful applications in biofuel production process. *Langmuir*, 28 49, 16864-73 .
14. Du, L., Liang, Y., Cui, S., Wei, J., Liu, J., Zhang, S., Zhang, Y., ... et al. (2025). Enzyme immobilization on nanomaterials in food industry: current status and future perspectives. *Critical reviews in food science and nutrition*, 66, 811 - 842.
15. Jothyswarupha, K. A., Venkataraman, S., Rajendran, D., Shri, S., Sivaprakasam, S., Yamini, T., Karthik, P., ... et al. (2024). Immobilized enzymes: exploring its potential in food industry applications. *Food Science and Biotechnology*, 34, 1533 - 1555.
16. Vodovnik, M., & Lindič, N. (2025). Towards the application of nature's catalytic nanomachines: Cellulosomes in 2nd generation biofuel production. *Biotechnology Advances*, 79, 108523 .


## 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](mailto: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

© 2026 Enzymes.bio · 産業用 · 食品加工用酵素の供給 · 人の摂取用または小売販売用ではありません。