

Catalase（カタラーゼ） | 食品・繊維・発酵工程で残留過酸化水素を水と酸素へ分解する酵素

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

Catalase（カタラーゼ）は、過酸化水素（ H_2O_2 ）を水（ H_2O ）と酸素（ O_2 ）へ分解する酸化還元酵素です。食品加工、発酵、繊維漂白後処理、排水処理では、殺菌・漂白・酸化処理後に残った過酸化水素を低減する目的で利用されます。Enzymes.bioのCatalaseは、1 kg単位でオンライン直接購入できる酵素製品で、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

Catalaseの定義：過酸化水素を「処理後に残さない」ための酵素

Catalase definitionを一文で述べるなら、「過酸化水素を2分子ずつ反応させ、水と酸素へ変換する酵素」です。反応式は、 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ で表されます。過酸化水素は食品・包装材の殺菌、繊維の漂白、酸化反応、環境処理などで有用ですが、処理後に残ると、風味劣化、発酵阻害、染色不良、微生物検出の阻害、排水処理への負荷といった別の問題を生みます。カタラーゼは、過酸化水素の酸化力を使い終えた後に、その残留反応性を酵素的に下げるための実用的な生体触媒です。^[1]

生体内では、カタラーゼは活性酸素種（ROS）に対する防御系の一部として位置づけられます。植物、動物、微生物では代謝過程で過酸化水素が生じ、過剰な H_2O_2 はタンパク質、脂質、核酸に酸化的損傷を与えます。抗酸化代謝を扱うレビューでは、カタラーゼは過酸化水素を水と酸素へ分解する主要な酵素的抗酸化因子として説明され、スーパーオキシドジスムターゼやペルオキシダーゼなどとともに関与を構成します。^[1]

B2B用途で重要なのは、カタラーゼを「栄養成分」や「健康成分」としてではなく、工程中の残留過酸化水素を制御する酵素として理解することです。検索ではcatalase foods、catalase in food、catalase sigma、catalase in vitroなどの語が混在しますが、食品中に内在する酵素、研究用試薬、工業用プロセス酵素では目的が異なります。本稿では、食品・飲料、発酵、繊維、排水などの工程で過酸化水素を分解する実務用途に焦点を当てます。

作用機序：ヘム中心でH₂O₂を受け取り、水と酸素へ変換する

多くのカタラーゼはheme catalase、すなわちヘムを含む酸化還元酵素として機能します。Catalase cofactorとしてのヘム鉄は、過酸化水素から酸化当量を受け取り、活性中心の酸化状態を一時的に変化させます。その後、別の過酸化水素分子が還元基質として働き、酸化された酵素中間体を元に戻しながら、水と酸素を生成します。デュラムコムギのカタラーゼ遺伝子ファミリー解析でも、植物カタラーゼは非生物ストレス条件下でH₂O₂代謝に関わる重要な酵素群として扱われています。[2]

この反応の特徴は、過酸化水素を別の強い還元剤で「消す」のではなく、H₂O₂そのものを酸化剤と還元剤の両方として使う点です。反応後の主生成物は水と酸素であり、硫黄系還元剤や塩類を追加して残す処理とは工程設計上の意味が異なります。特に食品・飲料や繊維の後処理では、反応後に残る副成分を少なくしたい場面が多いため、カタラーゼ反応の単純な生成物は実用上の利点になります。

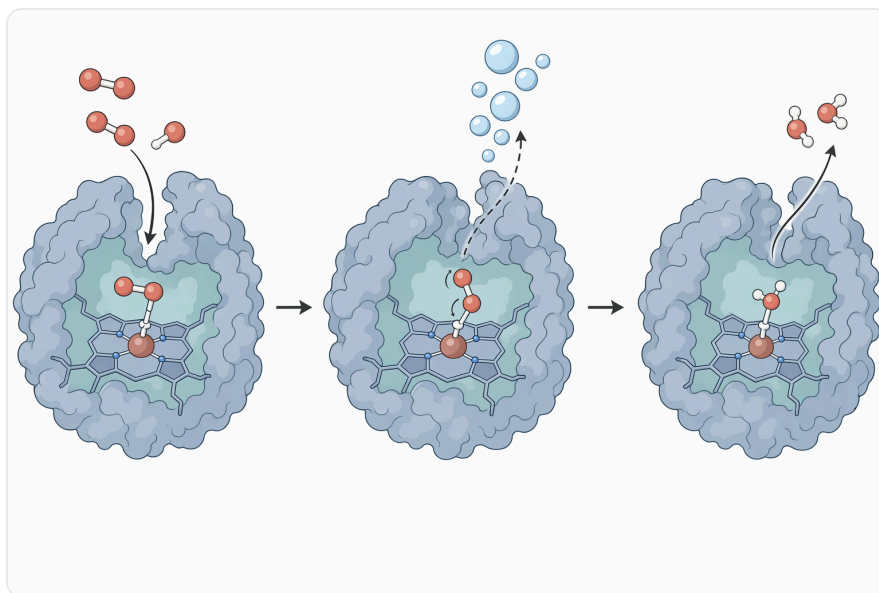


Figure 1. 카탈라아제는 재생되는 효소 중간체를 거쳐 과산화수소 두 분자를 물 두 분자와 산소 한 분자로 분해한다.

Catalase peroxidaseやcatalase-peroxidaseという語も関連検索で見られますが、これはカタラーゼ活性とペルオキシダーゼ活性を併せ持つ酵素群を指す文脈で使われることがあります。一般的なカタラーゼはH₂O₂をH₂OとO₂へ不均化する反応が中心である一方、ペルオキシダーゼはH₂O₂を使って別の電子供与体を酸化します。工業的な残留H₂O₂除去で求められるのは、対象物中に残った過酸化水素をできるだけ後工程に影響しにくい形へ変換することであり、その目的ではカタラーゼ反応が直接的です。[1]

Catalaseはどこに存在するか：植物、微生物、動物に広く分布する抗酸化酵素

「where is catalase found in plants」という検索が多いのは、ジャガイモ、ホウレンソウ、小麦などを使った教育実験や植物ストレス研究でカタラーゼがよく扱われるためです。植物では、光合成、呼吸、光呼吸、塩ストレス、乾燥、重金属ストレスなどにより H_2O_2 が発生し、カタラーゼを含む抗酸化酵素群がその濃度を制御します。植物の逆境応答を扱うレビューでは、ROS生成と抗酸化代謝のバランスがストレス耐性の中心的な要素として整理されています。^[1]

デュラムコムギでは、CAT遺伝子ファミリーのゲノムワイド解析と発現プロファイルが報告され、複数の非生物ストレス条件に対してカタラーゼ遺伝子の応答が変化することが示されています。これは、植物カタラーゼが単なる「存在する酵素」ではなく、塩、乾燥、温度などの環境変動に対する H_2O_2 制御システムの一部であることを示します。ジャガイモを用いた「optimum pH for catalase in potato」のような教育実験で見られる気泡発生も、 H_2O_2 分解に伴う酸素発生を観察しているものです。^[2]

植物以外でも、カタラーゼは昆虫、哺乳類、微生物に広く見られます。ミツバチを用いた研究では、銅、鉛、カドミウムといった金属曝露がレドックス状態、スーパーオキシドジスムターゼ、カタラーゼに影響することが評価されており、カタラーゼが生体の酸化ストレス指標として使われることを示しています。蚊の越冬雌でもカタラーゼ活性が調べられており、低温や休眠状態に関わる酸化ストレス管理の文脈で研究されています。^[3]

工程用途での役割：過酸化水素を使った「後」に効く

カタラーゼの実務価値は、過酸化水素の使用を否定することではありません。過酸化水素は、酸化剤、漂白剤、殺菌剤として工程内で有効です。問題は、役割を終えた後にも残る H_2O_2 が、次工程の反応や品質に干渉することです。カタラーゼは、処理後の残留過酸化水素を短時間で低減するための後処理酵素として位置づけられます。

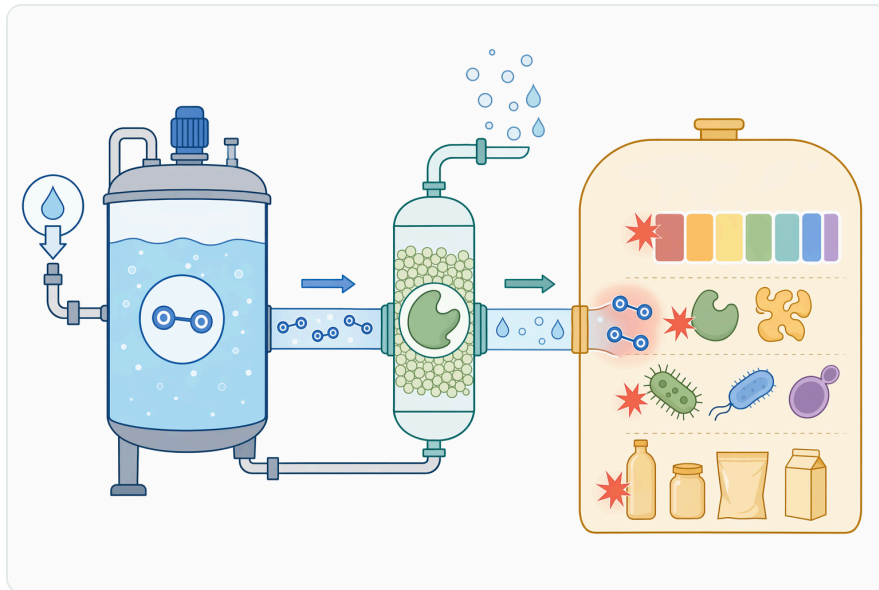


Figure 2. 잔류 과산화수소는 의도된 공정 단계가 끝난 뒤에도 활성을 유지해 후속 소재, 효소, 미생물 또는 방류수 생태계에 영향을 줄 수 있다.

食品・飲料では、包装材処理、乳製品、卵製品、飲料原料などで過酸化水素が使われる場合があります。残留 H_2O_2 は、風味、色調、脂質酸化、発酵微生物へのストレスに関わります。Enzymes.bioのCatalaseカテゴリでは、食品・飲料加工、繊維加工、排水処理などで過酸化水素を分解する用途が示されています。ここでのカタラーゼは、製品に風味や栄養機能を付与する添加物というより、工程中の酸化剤残留を管理する酵素として扱うのが適切です。

発酵工程でも、 H_2O_2 は微生物の生育や代謝を阻害する可能性があります。酵母、乳酸菌、酢酸菌などを利用する工程では、発酵開始前または下流処理前に酸化剤を低減することで、微生物や酵素反応への不要な酸化ストレスを抑えやすくなります。グルコースオキシダーゼなど H_2O_2 を副生成物として発生させる酸化酵素と組み合わせる場合、カタラーゼは副生成物管理の役割を担います。^[4]

繊維加工では、漂白後の過酸化水素が染料を酸化し、染色ムラや色再現性の低下につながる場合があります。カタラーゼは、漂白後に残った H_2O_2 を分解する「peroxide killer」として理解され、すぎ負荷や還元剤依存を下げる工程設計に使われます。Enzymes.bioでも、Catalaseは繊維加工における残留過酸化水素分解用途として掲載されています。

排水・環境用途では、過酸化水素が後段の生物処理や放流管理に影響することがあります。カタラーゼによる分解では酸素が発生するため、開放系・閉鎖系、泡立ちやガス抜き、攪拌状態などの工程条件が実際の運用に関わります。土壌や環境研究では、カタラーゼ活性は微生物活動や酸化還元状態を反映する指標として扱われることもあり、茶園土壌へのバイオ炭施用研究でも土壌酵素活性の一つとして評価されています。^[5]



Figure 3. 카탈라아제의 산업적 활용은 식품 및 원료 가공, 포도당 산화효소 시스템, 섬유, 폐수 처리, 바이오공정 작업에서 과산화물 제어에 중점을 둔다.

用途別に見たCatalaseの実務的意味

| 用途領域 | 過酸化水素が問題になる場面 | Catalaseの役割 | 工程上の意味 |
|--------------|--|---|------------------------|
| 食品・飲料加工 | 殺菌・酸化処理後のH ₂ O ₂ 残留 | H ₂ O ₂ を水と酸素へ分解 | 風味、色調、発酵適性への酸化影響を下げる |
| 発酵・酵素反応 | 酸化酵素反応や前処理由来のH ₂ O ₂ | 副生成物H ₂ O ₂ の制御 | 微生物・酵素への酸化ストレスを低減 |
| 繊維加工 | 過酸化水素漂白後の残留 | 染色前のH ₂ O ₂ 分解 | 染色ムラ、還元剤使用、すすぎ負荷の低減に寄与 |
| 排水処理 | 工業排水中の酸化剤残留 | 後段処理前のH ₂ O ₂ 低減 | 生物処理や排水管理への干渉を抑える |
| 分析・バイオセンサー研究 | 酸化酵素反応でH ₂ O ₂ が関与 | カスケード内のH ₂ O ₂ 応答制御 | グルコース検出などの研究系で利用される |

上表の共通点は、カタラーゼが「主反応を行う酵素」ではなく、「過酸化水素を制御する酵素」として働く場面が多いことです。例えば、グルコースオキシダーゼが酸素を消費しながらグルコースを酸化する系ではH₂O₂が生成します。多孔性磁性キトサンマイクロスフェアにグルコースオキシダーゼとカタラーゼを共固定化した研究では、グルコン酸ナトリウム生産を目的とした酵素カスケードとして両酵素が組み合わされています。^[4]

カスケード反応では、ある酵素が生む中間体や副生成物を、次の酵素がすぐに処理できる配置が重要になります。酵素近接性がカスケード反応を加速し得るかを扱った研究では、酵素同士の空間配置や拡散距離が反応全体に影響する可能性が検討されています。GOx-Catalase系のような設計では、 H_2O_2 の局所蓄積を避けることが、酵素安定性や反応効率の観点から意味を持ちます。[6]

Catalase in vitroと固定化技術：研究から工程安定化へ

Catalase in vitroの研究では、遊離酵素としての H_2O_2 分解だけでなく、固定化、カプセル化、電極化、ナノ材料との組み合わせが検討されています。シリカゾルゲル材料にシトクロムcとカタラーゼを封入する研究では、酵素を無機マトリックス内に保持する条件が検討されており、酵素活性を保持しながら外部環境から保護するアプローチの一例です。[7]

近年は、硬いシェルと柔らかいコアを組み合わせることで、酵素活性を高めつつ外部擾乱への耐性を改善する設計も報告されています。こうした研究は、カタラーゼそのものの販売仕様を示すものではありませんが、酵素が温度、pH、酸化剤、界面、機械的せん断などの環境要因に影響されること、そして固定化や保護構造が工学的課題として扱われていることを示します。[8]

カタラーゼを電極と組み合わせた研究もあります。Activation-based catalase enzyme electrodeに関する報告では、グルコース測定への利用が検討されており、カタラーゼが H_2O_2 応答を扱うバイオセンサー設計にも使われることが示されています。これは工業用残留 H_2O_2 分解とは目的が異なりますが、カタラーゼ反応が分析系でも利用可能なほど明確な酸化還元応答を持つことを示す例です。[9]



Figure 4. 포도당 산화효소 시스템에서 카탈라아제는 포도당 전환 과정에서 생성되는 과산화수소를 분해하여 과산화수소를 제거하는 역할을 한다.

Catalaseとナノザイム：天然酵素の代替ではなく、H₂O₂制御価値を示す研究領域

天然カタラーゼとは別に、カタラーゼ様活性を持つnanozyme研究も進んでいます。グリコール酸オキシダーゼ反応ではH₂O₂副生成物が問題となり、カタラーゼ模倣ナノザイムのカスケードでH₂O₂を処理して反応性を高める設計が報告されています。この研究は、H₂O₂副生成物をその場で分解することが、酸化酵素反応の効率や安定性に関わることを示しています。^[10]

ただし、ナノザイム研究をそのまま食品・繊維用Catalase製品の性能根拠として扱うべきではありません。ナノ材料は反応機構、規制、残留性、用途適合性が天然酵素とは異なります。B2B工程で天然カタラーゼを選ぶ理由は、確立されたH₂O₂分解反応を、水と酸素を主生成物とする酵素反応として利用できる点にあります。ナノザイム研究は、過酸化水素制御そのものが複数分野で重要課題であることを示す周辺の根拠として位置づけるのが適切です。^[10]

微生物学でのCatalase：catalase positive、E. coli catalase testの意味

catalase test、catalase positive、e coli catalase test、catalase and coagulase test、catalase test中文といった検索語は、主に微生物同定の文脈で使われます。カタラーゼ陽性菌は、過酸化水素に対してカタラーゼ反応を示し、酸素発生を伴う反応が観察されます。これは、細菌が酸化ストレスにどう対処するかを反映する性質であり、食品・環境・臨床微生物学で分類情報の一部として利用されます。^[1]

ただし、微生物同定でのカタラーゼ反応と、Enzymes.bioが供給するCatalaseの工程用途は別物です。前者は微生物が持つ内在性酵素活性を調べる文脈であり、後者は外部から酵素を工程に加えて残留H₂O₂を分解する文脈です。本稿では試験手順や判定法には立ち入りませんが、どちらの文脈でも中心にある化学反応は同じで、過酸化水素が水と酸素へ分解されることです。

pH、温度、基材の影響：酵素反応として扱う必要がある

カタラーゼは酵素であるため、化学還元剤のように単純な添加量だけで挙動が決まるわけではありません。pH、温度、過酸化水素濃度、処理時間、攪拌、基材中の塩、金属、界面活性剤、ポリフェノール、タンパク質、粘度などが反応速度と安定性に影響します。植物や土壌の研究でも、カタラーゼ活性は環境条件やストレス状態に応答して変化する酵素指標として扱われています。^[11]

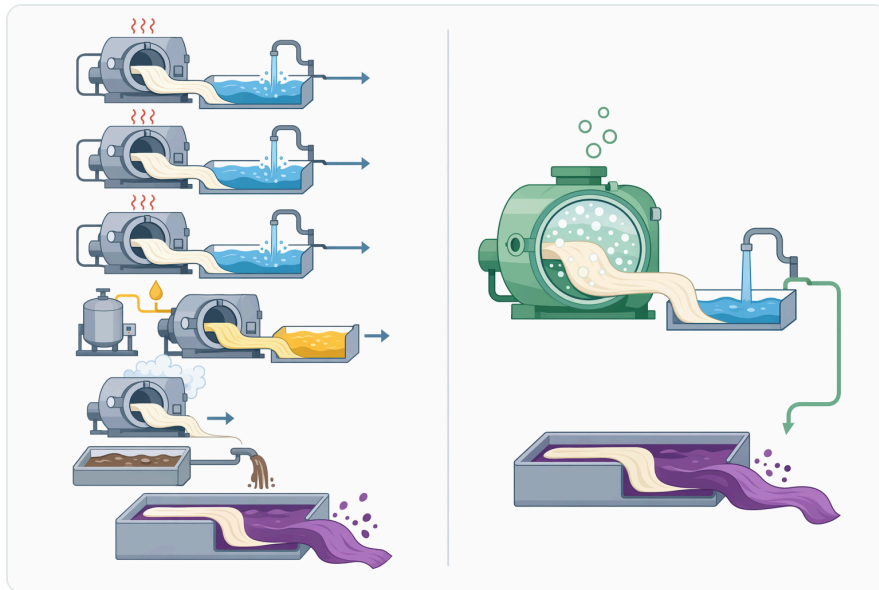


Figure 5. 카탈라아제는 과산화수소를 물과 산소로 특이적으로 전환한다는 점에서 단순 방치, 희석, 열처리, 화학적 중화와 다르다.

「Optimum pH for catalase in potato」のような検索で得られる教育実験の結果は、ジャガイモ抽出液、過酸化水素濃度、緩衝条件、温度、観察方法に依存します。したがって、ジャガイモや食品素材で得た見かけの最適pHを、工業用Catalase製品や繊維・排水工程へそのまま当てはめるのは適切ではありません。工程用途では、対象液のpHや温度だけでなく、過酸化水素を使った前工程の残留成分が酵素に及ぼす影響も考慮されます。^[2]

高濃度の酸化剤に長時間さらされる条件では、カタラーゼ自体も失活し得ます。これは、カタラーゼが H_2O_2 を分解する酵素であっても、無制限に酸化ストレスへ耐える材料ではないためです。光、浸透圧、化学ストレス条件下でカタラーゼの光不活性化や光化学系II阻害が早期症状として観察された研究は、カタラーゼ活性が環境ストレスに敏感な生化学的指標であることを示しています。^[12]

食品・発酵でのCatalase：catalase in foodを工程目線で見ると

食品分野でのcatalase in foodは、二つの意味を持ちます。一つは食品素材に元々含まれる内在性カタラーゼ、もう一つは加工助剤として外部から用いるカタラーゼです。前者は野菜、果実、肉、乳、卵などの生体組織由来酵素として存在し得ますが、加熱、pH、加工条件で変化します。後者は、過酸化水素処理後に残留酸化剤を分解するための工程酵素です。^[1]

食品・飲料加工で過酸化水素を使用する場合、処理後に H_2O_2 が残ると、脂質酸化、色素分解、香気成分の酸化、微生物スターターへの阻害が起こり得ます。カタラーゼの目的は、過酸化水素処理そのものを代替することではなく、処理後に残る H_2O_2 を水と酸素へ変換し、次工程への持ち越しを抑えることです。Enzymes.bioのCatalaseカテゴリも、食品・飲料、繊維、排水などでの過酸化水素分解用途に焦点を当てています。

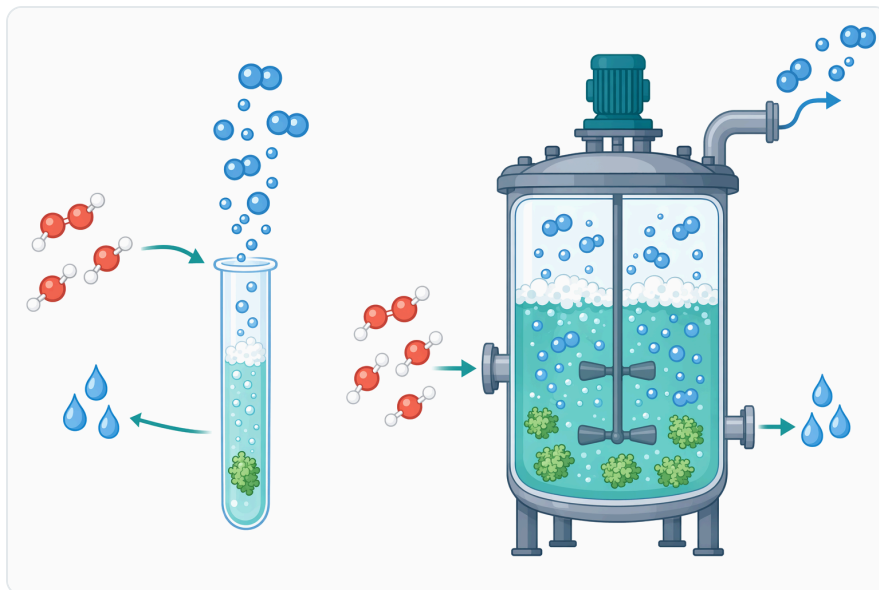


Figure 6. 카탈라아제 시험과 산업 공정 흐름에서 보이는 기포는 과산화수소 분해 중 방출된 산소를 나타낸다.

グルコン酸やグルコン酸塩の製造のように、グルコースオキシダーゼを利用する酸化反応では、 H_2O_2 の生成が反応設計上の課題になります。GOxとカタラーゼを共固定化した研究では、カタラーゼが H_2O_2 を処理することで反応系を安定化させ、酸化酵素反応と副生成物処理を一体化する考え方が示されています。食品・発酵工程でも、この「主反応酵素+ H_2O_2 処理酵素」という組み合わせは重要な設計思想です。^[4]

繊維加工でのCatalase：漂白後の H_2O_2 を染色前に下げる

繊維の過酸化水素漂白は、白度を高めるために広く使われます。しかし、漂白後に H_2O_2 が繊維や浴中に残ると、後続の染色で染料を酸化し、色差、ムラ、再現性低下を引き起こすことがあります。カタラーゼはこの残留過酸化水素を分解することで、染色前の浴条件を整える役割を果たします。Enzymes.bioでは、Catalaseが繊維加工での残留過酸化水素除去用途に用いられる酵素として案内されています。

この用途での利点は、単に「 H_2O_2 が減る」ことに留まりません。過剰なすすぎ、還元剤の使用、排水中の化学残留を抑えやすくなり、染色工程への移行を短縮できる可能性があります。一方で、実際の効果は繊維種、漂白条件、浴比、pH、温度、染料系、設備構造に左右されます。したがって、カタラーゼは万能な染色改善剤ではなく、漂白後の酸化剤残留を酵素的に制御するための工程助剤と捉えるべきです。

排水・環境分野でのCatalase：酸化剤残留と生物処理の間をつなぐ

過酸化水素は環境負荷の低い酸化剤として扱われることがありますが、排水中に残留した H_2O_2 は後段の生物処理、微生物群集、酸化還元バランスに影響します。カタラーゼを用いると、 H_2O_2 を水と酸素へ分解できるため、酸化剤残留を下げた状態で後段処理へ送る設計が可能になります。土壌微生物群集や代謝プロファイルを扱う研究でも、土壌環境の変化に伴う酵素活性や微生物構成の変動が評価されており、酵素活性は環境状態を読む重要な指標になっています。^[13]

農業土壌や茶園土壌の研究では、カタラーゼ活性を含む土壌酵素活性が、有機物、微生物活性、改良資材の影響を反映する項目として測定されています。バイオ炭施用が茶園土壌酵素活性に及ぼす影響を扱った研究では、土壌中の酵素活性変化が土壌機能の評価に使われています。これは、工業排水処理で外部添加するカタラーゼとは別の文脈ですが、 H_2O_2 分解に関わる酵素活性が環境システムの酸化還元状態と密接に関係することを示します。^[5]

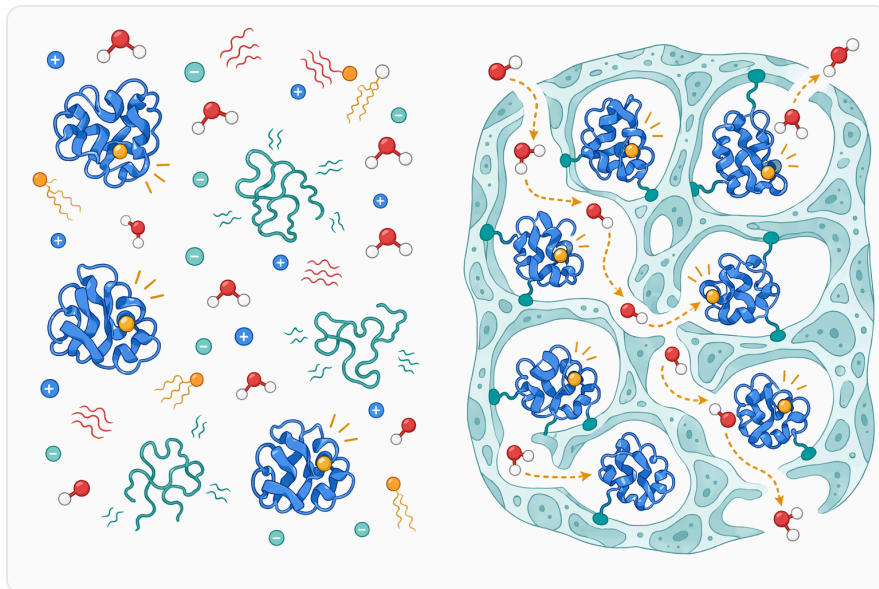


Figure 7. 카탈라아제의 활성과 내구성은 접착 조건, 효소가 자유 상태인지 고정화된 상태인지 등 주변 공정 환경에 따라 달라진다.

Enzymes.bioのCatalase：1 kg単位でオンライン購入できる供給製品

Enzymes.bioは、酵素製品をオンラインで供給するサプライヤーであり、製造業者・研究所としての立場ではありません。Catalaseは、過酸化水素分解を目的とする食品・飲料、繊維、発酵、排水関連用途向けの酵素製品として掲載されています。製品は1 kg単位でオンライン直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

ここで扱うCatalaseは、研究用カタログで検索されるcatalase sigmaのような試薬比較とは目的が異なります。研究試薬では分析、教育、in vitro実験での再現性が中心になりますが、工程用途では残留過酸化水素をどの段階で下げるか、処理対象のpH・温度・基材とどう整合させるかが重要になります。Enzymes.bioの文脈では、カタラーゼは残留H₂O₂を水と酸素へ変換するためのプロセス酵素として理解するのが最も明確です。

まとめ：Catalaseは過酸化水素工程の「出口」を安定化する酵素

Catalaseは、過酸化水素を水と酸素へ分解する酵素であり、食品・飲料、発酵、繊維漂白、排水処理などで残留H₂O₂を低減する目的に適しています。過酸化水素の酸化力は殺菌や漂白には有用ですが、処理後に残ると品質、微生物、染色、後段処理へ干渉します。カタラーゼは、その出口リスクを酵素反応で下げるための実用的な選択肢です。

科学的には、カタラーゼは植物、動物、微生物に広く存在する抗酸化酵素であり、H₂O₂代謝と酸化ストレス制御の中心的な因子として研究されています。工業的には、その確立された反応を利用して、過酸化水素処理後の残留酸化剤を水と酸素へ変換します。Enzymes.bioのCatalaseは、1 kg単位でオンライン購入でき、注文時にCoAとSDSが提供される、残留過酸化水素分解向けの酵素製品です。^[1]

Catalase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。

[Catalase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. García - Caparrós, P., Filippis, L. D., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. (2020). Oxidative Stress and Antioxidant Metabolism under Adverse Environmental Conditions: a Review. *The Botanical review*, 87, 421 - 466.
2. Ghorbel, M., Zribi, I., Besbes, M., Bouali, N., & Brini, F. (2023). Catalase Gene Family in Durum Wheat: Genome-Wide Analysis and Expression Profiling in Response to Multiple Abiotic Stress Conditions. *Plants*, 12.

3. Nikolić, T. V., Kojić, D., Orčić, S., Batinić, D., Vukašinović, E. L., Blagojević, D., & Purać, J. (2016). The impact of sublethal concentrations of Cu, Pb and Cd on honey bee redox status, superoxide dismutase and catalase in laboratory conditions. *Chemosphere*, 164, 98-105 .
4. Liu, Y., Zou, P., Huang, J., & Cai, J. (2022). Co-immobilization of glucose oxidase and catalase in porous magnetic chitosan microspheres for production of sodium gluconate. *International journal of Chemical Reactor Engineering*, 20, 989 - 1001.
5. Jiang, Y., Wang, X., Zhao, Y., Zhang, C., Jin, Z., Shan, S., & Ping, L. (2021). Effects of Biochar Application on Enzyme Activities in Tea Garden Soil. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9.
6. Kuzmak, A., Carmali, S., Lieres, E., Russell, A., & Kondrat, S. (2019). Can enzyme proximity accelerate cascade reactions?. *Scientific Reports*, 9.
7. Miller, J., Dunn, B., Valentine, J., & Zink, J. (1996). Synthesis conditions for encapsulating cytochrome c and catalase in SiO₂ sol-gel materials. *Journal of Non-crystalline Solids*, 202, 279-289.
8. Wang, Y., Tong, H., Ni, S., Huo, K., Liu, W., Zan, X., Yuan, X., ... et al. (2025). Combining Hard Shell with Soft Core to Enhance Enzyme Activity and Resist External Disturbances. *Advancement of science*, 12.
9. Akbayirli, P., & Akyilmaz, E. (2007). Activation - Based Catalase Enzyme Electrode and its Usage for Glucose Determination. *Analytical Letters*, 40, 3360 - 3372.
10. Jiao, M., Li, Z., Li, X., Zhang, Z., Yuan, Q., Vriesekoop, F., Liang, H., ... et al. (2020). Solving the H₂O₂ by-product problem using a catalase-mimicking nanozyme cascade to enhance glycolic acid oxidase. *Chemical Engineering Journal*, 388, 124249.
11. Sofy, M., Mohamed, H., Dawood, M., Abu-Elsaoud, A., & Soliman, M. (2021). Integrated usage of Trichoderma harzianum and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68, 2005 - 2026.
12. Streb, P., Michael-Knauf, A., & Feierabend, J. (1993). Preferential photoinactivation of catalase and photoinhibition of photosystem II are common early symptoms under various osmotic and chemical stress conditions. *Physiologia Plantarum : An International Journal for Plant Biology*, 88 4, 590-598 .
13. Dong, D., Guo, Z., Wu, F., Yang, X., & Li, J. (2023). Plastic residues alter soil microbial community compositions and metabolite profiles under realistic conditions. *Science of the Total Environment*, 906, 167352 .


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

© 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。