

# 食品用途向けカタラーゼ酵素：過酸化水素分解に使う 残留H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>後処理

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

食品用途向けカタラーゼは、過酸化水素（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）を水と酸素へ分解するための酵素的な後処理材です。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を殺菌、漂白、酸化処理、洗浄などに使った後、残留酸化剤が風味、色調、発酵、染色、排水処理へ影響する前に低減する目的で使われます。カタラーゼは過酸化水素分解に特化した酸化還元酵素であり、反応生成物が主に水と酸素である点が、化学還元剤や多量すすぎと異なる実務上の利点です<sup>[1]</sup>。

## カタラーゼとは何か：H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を水と酸素へ変える工程酵素

カタラーゼは、多くの好気性生物が酸化ストレスから細胞を守るために備えている酵素で、過酸化水素を分解する反応を触媒します。反応は一般に  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  と表され、食品・飲料、乳製品、発酵、繊維、包装材処理、排水などで「過酸化水素を使った後に残さない」ための技術として利用されます<sup>[2]</sup>。

ここで重要なのは、カタラーゼがH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の使用目的そのものを置き換えるわけではないことです。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>は、工程内で殺菌、表面処理、漂白、酸化補助などの役割を果たします。その後、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>が残ると次工程や品質に影響するため、カタラーゼを添加して残留過酸化水素を水と酸素へ分解する、という位置づけになります<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioは、食品用途向けカタラーゼをオンラインで供給するサプライヤーであり、製造業者または研究機関としての立場ではありません。製品は1kg単位でオンライン直接購入でき、注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。

## なぜ過酸化水素の「残留」が問題になるのか

過酸化水素は有用な酸化剤ですが、目的の処理後に残ると、同じ酸化力が品質上のリスクになります。食品・飲料では、香気成分、色素、脂質、タンパク質、ビタミン様成分などが酸化の影響を受ける可能性があり、発酵工程では酵母や乳酸菌などの有用微生物に酸化ストレスを与えます。抗酸化酵素に関する研究では、カタラーゼやスーパーオキシドジスムターゼのような酵素が、活性酸素種による細胞損傷を抑える防御系として働くことが整理されています<sup>[3]</sup>。

繊維加工では、綿などの漂白に $H_2O_2$ が使われますが、漂白後に残った $H_2O_2$ は染料の発色や定着を乱す可能性があります。従来は多段すすぎや還元剤処理で残留 $H_2O_2$ を下げるがありますが、すすぎ水、加熱エネルギー、排水負荷、処理時間が増えます。カタラーゼを使う設計では、 $H_2O_2$ を直接分解して酸化力を下げるため、工程短縮や環境負荷低減の方向に寄与し得ます<sup>[1]</sup>。

排水や洗浄液でも、 $H_2O_2$ が残ったまま後段の生物処理へ流入すると、微生物群へ影響する可能性があります。固定化酵素や膜技術を含む汚染物質除去のレビューでは、酵素を用いた処理が温和な条件で標的化学種を変換する手段として検討されており、 $H_2O_2$ 分解におけるカタラーゼもこの文脈で扱われます<sup>[4]</sup>。

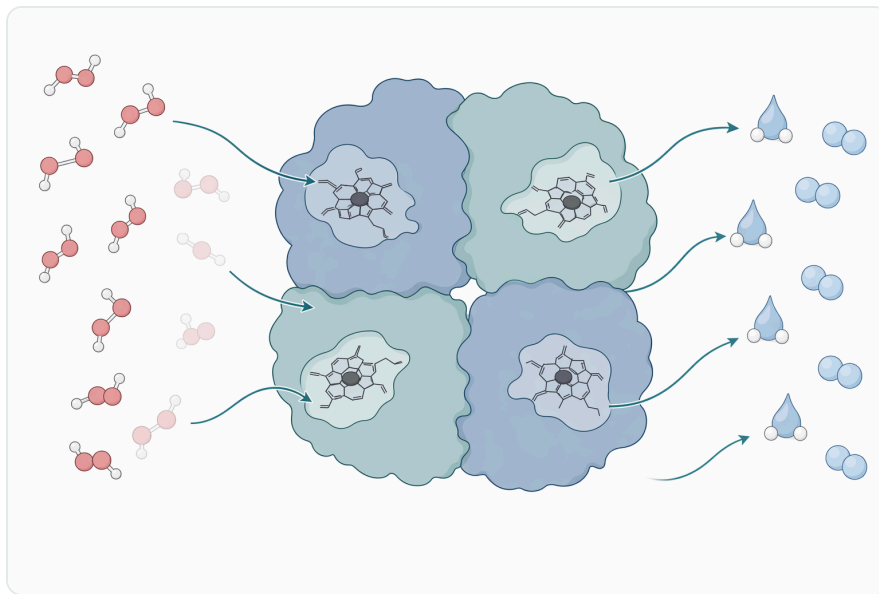


Figure 1. 카탈라아제는 과산화수소를 물과 산소 기체로 직접 분해합니다.

## 作用機序：ヘム活性部位で $H_2O_2$ を分解する

多くのカタラーゼはヘムを含む酸化還元酵素で、活性部位の鉄が $H_2O_2$ と反応して短寿命の酸化状態を経由し、別の $H_2O_2$ 分子を酸化・還元サイクルに取り込みながら水と酸素を生成します。反応の本質は、 $H_2O_2$ が単なる基質であるだけでなく、同じ反応サイクルの中で電子の受け渡しにも関与する点にあります<sup>[1]</sup>。

この機構は、一般的な化学還元剤とは異なります。化学還元剤は $H_2O_2$ を消費する一方で別の反応生成物や塩負荷を生じる場合がありますが、カタラーゼ反応では主生成物が水と酸素です。そのため、食品・飲料や乳製品のように副生成物を増やしたくない工程、または繊維・排水のように後処理負荷を下げたい工程で採用しやすい考え方になります<sup>[1]</sup>。

ただし、カタラーゼはタンパク質であるため、温度、pH、酸化剤濃度、溶媒、界面活性剤、金属イオン、塩濃度、混合状態などの影響を受けます。カタラーゼの構造安定性に関する研究では、ポリオール系浸透圧保護物質が酵素の構造保持や凝集傾向に影響し得ることが、分光測定および分子動力的解析から検討されています<sup>[5]</sup>。

## 食品・飲料工程での考え方

食品・飲料分野では、 $H_2O_2$ が包装材処理、設備表面の衛生処理、特定原料の酸化制御などに関与することがあります。処理後に $H_2O_2$ が残ると、製品の風味、色調、栄養成分、発酵適性に影響する可能性があるため、後工程へ移る前に残留酸化剤を下げる設計が必要です。カタラーゼは、 $H_2O_2$ を水と酸素に変えるため、この「処理後の残留低減」に適した酵素です。

特に、発酵を伴う食品や飲料では、 $H_2O_2$ の残留が微生物の増殖や代謝に影響する可能性があります。酵母や細菌は酸化ストレス応答を持っていますが、過剰な $H_2O_2$ は細胞成分へ損傷を与えるため、発酵前の設備・容器・原料処理で $H_2O_2$ を使う場合には、微生物接種前に残留を抑えることが合理的です<sup>[3]</sup>。

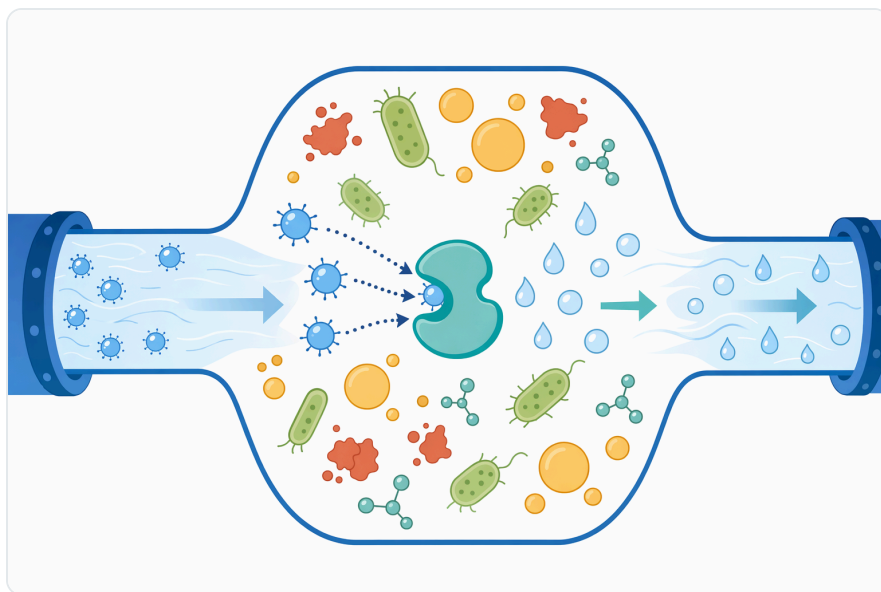


Figure 2. 잔류 과산화수소는 민감한 성분을 계속 산화시키고, 이후의 생물학적 공정이나 품질에 민감한 처리 과정에 영향을 줄 수 있습니다.

一方で、カタラーゼは万能な品質改善剤ではありません。酸化で既に変化した香気成分や色素を元に戻すものではなく、残っている $H_2O_2$ を分解する酵素です。したがって、食品・飲料用途では「 $H_2O_2$ 処理の後に、次工程へ持ち込まれる酸化力を低減する」ための工程補助材として理解するのが正確です<sup>[1]</sup>。

## 乳製品・卵製品での用途上の意味

---

乳製品や卵製品では、タンパク質、脂質、微量成分が酸化の影響を受けやすく、 $\text{H}_2\text{O}_2$ の残留は品質変化や発酵適性に関係します。乳加工における酵素固定化技術のレビューでは、酵素が温和な条件で特定反応を進められること、再利用性や工程統合の観点から固定化技術が研究されていることが整理されています<sup>[6]</sup>。

カタラーゼを乳製品や卵製品の文脈で見える場合、主な目的は $\text{H}_2\text{O}_2$ による処理を終えた後の残留分解です。例えば、容器や接液部の $\text{H}_2\text{O}_2$ 処理、原料表面の衛生処理、または工程水に含まれる $\text{H}_2\text{O}_2$ の後処理では、残った $\text{H}_2\text{O}_2$ をできるだけ次工程へ持ち込まない設計が求められます。カタラーゼは水系条件で作用するため、加熱や強い化学薬剤に依存しない選択肢として位置づけられます<sup>[1]</sup>。

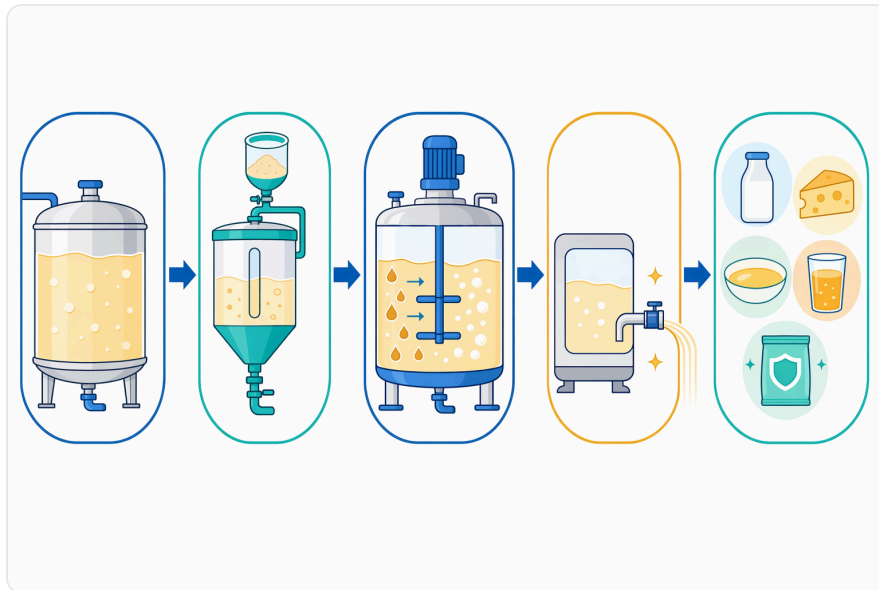
ただし、乳や卵はタンパク質、脂質、塩、ミネラルを多く含む複雑なマトリックスです。実際の分解挙動は $\text{H}_2\text{O}_2$ 濃度、温度、pH、粘度、混合、泡立ち、酸素抜け、脂肪球やタンパク質との相互作用に左右されます。したがって、工程内では「 $\text{H}_2\text{O}_2$ とカタラーゼが十分に接触し、発生酸素が過度に滞留しない」状態を設計することが重要です<sup>[5]</sup>。

## 繊維加工：漂白後の $\text{H}_2\text{O}_2$ 除去

---

繊維加工では、綿の過酸化水素漂白後に残留 $\text{H}_2\text{O}_2$ を除去してから染色へ進む必要があります。残留 $\text{H}_2\text{O}_2$ があると、反応染料や助剤に酸化的影響を与え、色むら、色差、再現性低下につながる可能性があります。カタラーゼは漂白そのものではなく、漂白後の残留 $\text{H}_2\text{O}_2$ を水と酸素へ分解するために使われます<sup>[1]</sup>。

カタラーゼ処理の実務上の利点は、すすぎ水や化学還元剤の使用を減らせる可能性にあります。多段すすぎは水、蒸気、電力、時間を消費し、還元剤処理は排水中の化学的負荷を増やす場合があります。酵素を使う場合、適切な条件であれば $\text{H}_2\text{O}_2$ を選択的に分解し、染色前の酸化リスクを下げる工程として組み込めます<sup>[1]</sup>。



**Figure 3.** 과산화물 처리 후, 발효·혼합·가열·포장 또는 기타 과산화물에 민감한 작업 전에 카탈라아제 단계를 적용합니다.

ただし、繊維工程は食品工程よりアルカリ性、高温、界面活性剤、金属イオン、残留漂白助剤などの影響を受けやすい環境です。近年の酵素工学研究では、産業条件に耐える酵素の安定性や性能を高めるために、タンパク質工学、固定化、スクリーニングなどが検討されていますが、工程ごとの条件適合が性能を左右します<sup>[7]</sup>。

## 排水・環境処理：酸化剤負荷を下げる使い方

食品、飲料、繊維、紙、包装、化学処理などの工程では、 $H_2O_2$ を含む洗浄液や排水が発生する場合があります。 $H_2O_2$ は分解しやすい酸化剤ではありますが、濃度や排出タイミングによっては後段の生物処理、配管材料、水生生物、酸化還元バランスに影響することがあります。カタラーゼによる分解は、排水中の残留 $H_2O_2$ を水と酸素へ変える方法として検討されています<sup>[4]</sup>。

排水用途では、溶存成分が多く、pHや温度も変動しやすいため、酵素が安定に接触できる設計が重要です。固定化カタラーゼに関するレビューでは、担体への固定化によって酵素の回収性、再使用性、操作安定性を高められる可能性が整理されていますが、固定化による拡散制限や活性低下、担体との相互作用も課題として扱われています<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioのような供給業者から購入する液状または粉末状のカタラーゼは、個々の排水設備の設計そのものを代替するものではありません。役割は、 $H_2O_2$ を含む水系ストリームに対して酵素反応を導入し、酸化剤負荷を下げることです。排水全体のCOD、塩類、界面活性剤、重金属、pH調整、固形分除去などは別の処理要素として扱う必要があります<sup>[4]</sup>。

## グルコースオキシダーゼとの組み合わせを理解する

食品・飲料や包装分野では、グルコースオキシダーゼとカタラーゼが同じ工程設計の中で議論されることがあります。グルコースオキシダーゼはグルコースと酸素を反応させ、グルコン酸および $H_2O_2$ を生じる酵素であり、酸素除去や酸化制御に関係します<sup>[8]</sup>。

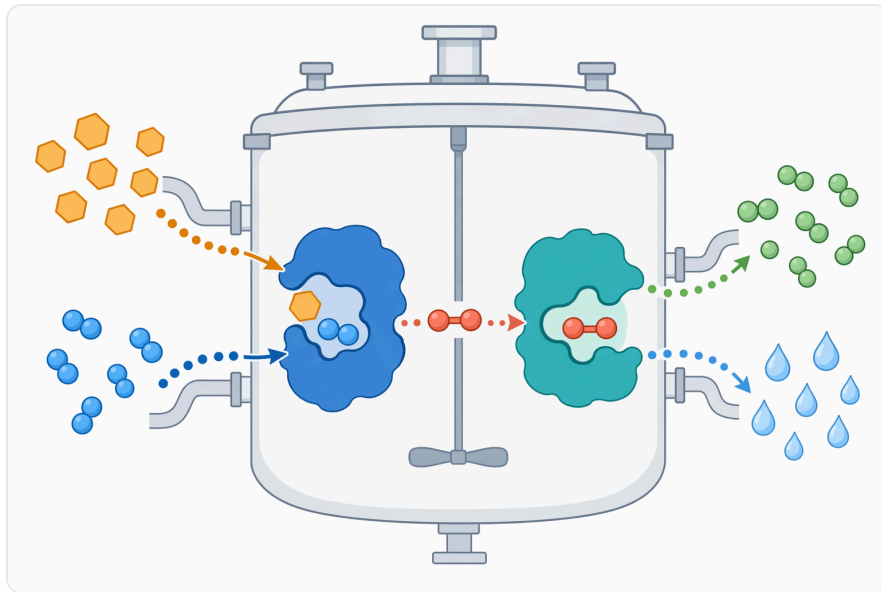


Figure 4. 포도당 산화효소 시스템에서 카탈라아제는 포도당 산화 과정에서 생성된 과산화수소를 분해합니다.

このとき、カタラーゼは副生する $H_2O_2$ を分解する補助酵素として機能します。つまり、グルコースオキシダーゼで酸素を消費しつつ、生成した $H_2O_2$ をカタラーゼで水と酸素へ戻すことで、 $H_2O_2$ の蓄積を抑える設計が可能になります。ただし、酸素の収支、基質グルコース、pH変化、発生酸素、目的とする酸化還元状態のバランスを理解して使う必要があります<sup>[8]</sup>。

この組み合わせは、単に「酵素を多く入れる」問題ではありません。グルコースオキシダーゼが $H_2O_2$ を生成し、カタラーゼが $H_2O_2$ を分解するため、両者の反応速度と工程目的が一致しないと、 $H_2O_2$ の蓄積または酸素制御の不足が起こります。したがって、カタラーゼは $H_2O_2$ 管理の中核酵素として、単独使用だけでなく酵素カスケードの一部としても理解できます<sup>[8]</sup>。

## カタラーゼ、すすぎ、化学還元剤の比較

過酸化水素の後処理には、酵素分解、すすぎ希釈、化学還元の三つの考え方があります。カタラーゼは $H_2O_2$ を標的として分解する方法であり、すすぎは濃度を希釈・排出する方法、化学還元は別の化学反応で $H_2O_2$ を消費する方法です。酵素固定化や産業酵素利用のレビューでは、酵素法は温和な条件、選択性、副生成物低減の点で評価される一方、条件依存性と安定性が重要な制約として示されています<sup>[4]</sup>。

後処理方法	主な作用	利点	注意点	適しやすい工程
カタラーゼ	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> を水と酸素へ酵素分解	副生成物を増やしにくい、温和な水系条件で使いやすい、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> に対して選択的	温度、pH、酸化剤濃度、界面活性剤、金属イオンの影響を受ける	食品・飲料、乳製品、発酵前処理、繊維漂白後、排水
多段すすぎ	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> を希釈・排出	原理が単純、既存設備に組み込みやすい	水、熱、時間、排水量が増える	繊維、包装材、設備洗浄
化学還元剤	還元反応でH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> を消費	反応が速い場合がある、条件設定が明確な工程で使いやすい	副生成物、塩負荷、過剰還元、排水管理が必要	繊維、化学処理、非食品工程
自然分解待ち	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> の自発分解を待つ	追加薬剤が不要	時間がかかる、濃度管理が不安定、次工程待ちが発生	低濃度・時間制約が小さい工程

この比較から分かるように、カタラーゼの価値は「H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を単に薄める」のではなく「化学種として分解する」点にあります。一方で、タンパク質酵素である以上、工程条件が合わなければ反応速度や安定性は低下します。固定化や酵素工学の研究が活発なのは、こうした産業条件下での安定性、再使用性、操作性を改善する必要があるためです<sup>[9]</sup>。

## 工程条件で見落とされやすい要因

カタラーゼ反応では酸素が発生します。小規模な処理では大きな問題にならない場合でも、密閉容器、粘性液、泡立ちやすい食品マトリックス、繊維浴、配管内処理では、発生酸素による泡、液面上昇、ガス溜まり、混合効率低下が起こることがあります。反応そのものは単純でも、酸素の抜け方は設備設計に関係します<sup>[1]</sup>。

pHと温度も重要です。カタラーゼは温和な水系条件で機能しやすい酵素ですが、強酸性、強アルカリ性、高温、強い酸化環境では構造変化や失活が起こり得ます。カタラーゼの構造・機能保持に関する研究では、酵素の折りたたみ状態、凝集、微環境が活性維持に影響することが示されており、単にH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>が存在すれば常に同じ速度で分解するわけではありません<sup>[5]</sup>。

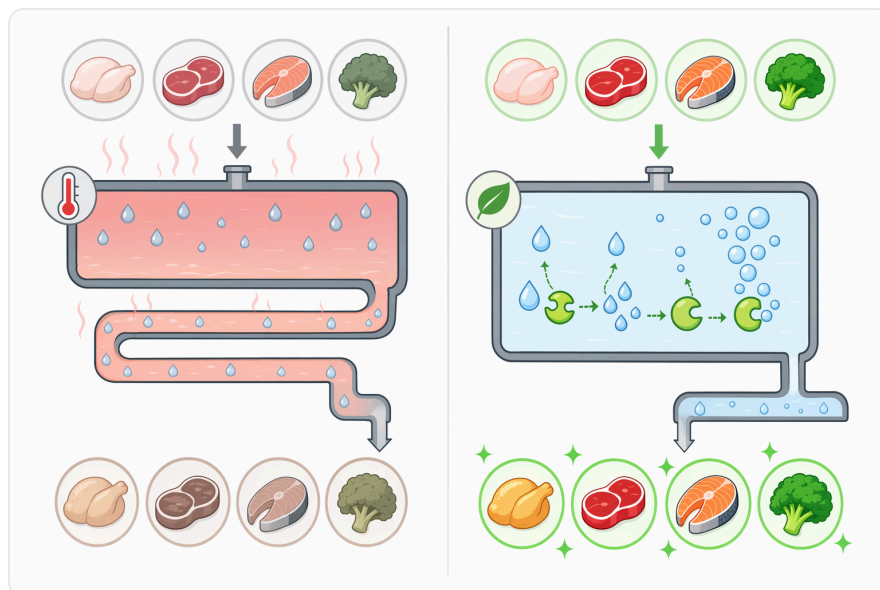


Figure 5. 카탈라아제는 별도의 수소 공여체 없이 과산화물을 물과 산소로 효소적으로 전환한다는 점에서 희석, 화학적 환원, 자연 분해와 다릅니다.

また、 $H_2O_2$ が過剰に高い条件では、基質である $H_2O_2$ 自体が酵素タンパク質へ酸化的ダメージを与える可能性があります。カタラーゼは $H_2O_2$ を分解するための酵素ですが、無制限に高濃度酸化剤へ耐える材料ではありません。したがって、過酸化水素処理が終わった後、必要に応じて希釈、温度調整、pH調整、混合確保を行ったうえで酵素分解を組み込む考え方が実務的です<sup>[1]</sup>。

## 固定化カタラーゼと遊離カタラーゼの違い

研究分野では、カタラーゼを担体へ固定化する方法が多く検討されています。固定化の目的は、酵素を回収しやすくすること、繰り返し使える可能性を高めること、熱やpHに対する操作安定性を改善すること、連続処理に組み込みやすくすることです<sup>[1]</sup>。

一方で、固定化は必ずしも全条件で有利とは限りません。担体の孔径、表面電荷、疎水性、結合方法、酵素の向き、 $H_2O_2$ の拡散、発生酸素の抜け方によって、見かけの反応速度が低下することがあります。ナノ粒子を含む固定化技術のレビューでも、固定化は持続可能な酵素利用の可能性を広げる一方、実用化には安定性、コスト、スケールアップ、担体安全性などの課題が残ると整理されています<sup>[10]</sup>。

Enzymes.bioがオンラインで供給するカタラーゼは、購入者が食品・産業用途で残留 $H_2O_2$ 分解に使うための酵素製品です。固定化リアクター、膜装置、連続処理システムなどの研究開発を提供する立場ではありません。したがって、本製品の位置づけは、工程内で $H_2O_2$ 分解能を付与する酵素原料として理解するのが適切です。

## 酵素工学が示す今後の方向性

産業酵素では、反応の選択性だけでなく、温度耐性、pH耐性、酸化剤耐性、保存安定性、溶媒耐性、発現効率、コスト、規制適合性が重要です。酵素工学のレビューでは、タンパク質工学、指向性進化、合理設計、計算支援設計が、産業条件に合う酵素特性を得るための手段として整理されています<sup>[7]</sup>。

カタラーゼについても、より高温、より広いpH、より複雑なマトリックス、より長い操作時間に耐える酵素が求められます。極限環境微生物由来の酵素、いわゆるエクストリモザイムに関する研究では、特殊な構造的特徴が熱、塩、pH、有機溶媒などへの耐性に関係することが示されており、将来の工業用カタラーゼ設計にも関連する考え方です<sup>[11]</sup>。



Figure 6. 카탈라아제의 성능은 온도, pH, 혼합, 과산화물 노출, 저해제 등 효소에 적합한 조건에 따라 달라집니다.

ただし、酵素工学上の可能性と、市販供給される個別製品の仕様は区別する必要があります。研究論文が示すのは、カタラーゼという酵素群の構造・機能・応用可能性であり、すべての市販カタラーゼが同じ耐性や挙動を示すわけではありません。B2B用途では、反応原理を理解したうえで、実際の工程条件に合わせて使用条件を設計することが重要です<sup>[9]</sup>。

## Enzymes.bioでの供給形態と購入上の位置づけ

Enzymes.bioは、過酸化水素分解用途のカタラーゼをオンラインで供給しています。製品は1kg単位で購入でき、オンライン注文後に処理・配送されます。注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されるため、受領後の社内管理、保管、安全取扱い、用途確認に使用できます。

ここで強調すべき点は、Enzymes.bioが製造業者や試験機関ではなく、酵素原料の供給業者であることです。したがって、本稿では特定の活性単位、試験法、分析法、ロットごとの詳細性能を記載しません。カタラーゼの科学的価値は、 $H_2O_2$ を水と酸素へ分解する酵素反応にあり、製品ページ上の実務的価値は、その反応を食品・産業工程の残留 $H_2O_2$ 後処理へ導入できる点にあります。

1kg単位のオンライン直接販売は、研究用の少量試薬販売や大口見積型の調達とは異なる位置づけです。食品・飲料、乳製品、発酵、繊維、排水など、 $H_2O_2$ を使う工程を持つ事業者が、残留過酸化水素分解のための酵素原料として購入できる形態です。

## 使うべき場面と、使うべきでない期待

カタラーゼが最も適するのは、過酸化水素の役割が終わった後に、残った $H_2O_2$ を低減したい場面です。例えば、殺菌後の包装材、発酵前の設備・原料処理、乳製品や卵製品の酸化剤後処理、綿漂白後の染色前処理、 $H_2O_2$ を含む洗浄液や排水の後処理などが典型的です<sup>[1]</sup>。

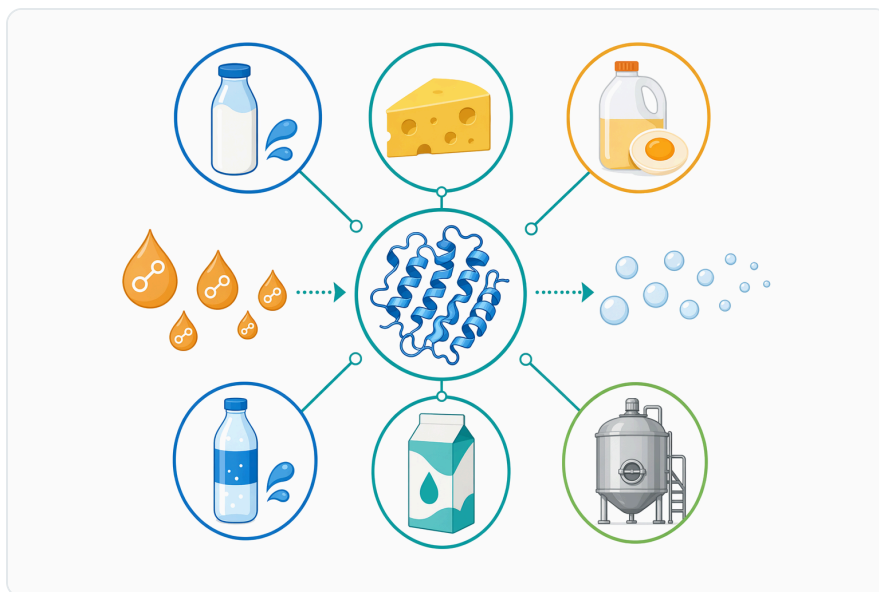


Figure 7. 카탈라아제를 이용한 과산화물 제거 화학은 식품, 유제품, 원료, 섬유, 펄프 및 제지, 폐수, 공정수 분야에 적용됩니다.

一方で、カタラーゼに期待すべきでないことも明確です。カタラーゼは一般的な漂白剤ではなく、すべての酸化剤を分解するわけでもありません。過酢酸、次亜塩素酸、オゾン、金属酸化物、フェノール類、界面活性剤、色素、COD成分などを包括的に処理する酵素ではなく、主な標的は $H_2O_2$ です<sup>[4]</sup>。

また、食品品質の改善効果を一律に保証するものではありません。 $H_2O_2$ による酸化が既に進んだ後にカタラーゼを加えても、酸化生成物を元に戻すことはできません。最も効果的なのは、 $H_2O_2$ 処理の終了後、過剰な滞留時間を置かず、適切な混合と温度条件で残留 $H_2O_2$ を分解する工程として組み

込むことです<sup>[5]</sup>。

## まとめ：カタラーゼはH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>後処理のための選択的な酵素ツール

食品用途向けカタラーゼは、過酸化水素を使う工程の後で、残留H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を水と酸素へ分解するための酵素です。反応は明確で、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を標的とし、副生成物を増やしにくい点が、すすぎや化学還元剤と異なる実務上の利点です<sup>[1]</sup>。

食品・飲料、乳製品、発酵、繊維、排水処理では、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>が有用な処理剤として働く一方、残留すれば品質、微生物活性、染色、後段処理へ影響する可能性があります。カタラーゼはこの残留酸化剤を低減する後処理酵素として、工程の安定化と処理負荷低減に貢献し得ます<sup>[4]</sup>。

Enzymes.bioは、過酸化水素分解用途のカタラーゼを1kg単位でオンライン直接販売する供給業者です。注文時にはCoAおよびSDSが提供されます。本製品は、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を使用する食品・産業工程において、残留過酸化水素を温和に分解するための実用的な酵素原料として位置づけられます。

### Food-Grade Catalase For Hydrogen Peroxide Decomposition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。

[Food-Grade Catalase For Hydrogen Peroxide Decomposition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. Abdalbagemohammedabdalsadeg, S., Xiao, B., Ma, X., Li, Y., Wei, J., Moosavi-Movahedi, A., Yousefi, R., ... et al. (2024). Catalase immobilization: Current knowledge, key insights, applications, and future prospects - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133941 .
2. Wibawa, J. C., Setiawan, A., Pratiwi, D. J., Yunitasari, I., Puspitaningsih, F., Dzikry, L. F., Ayubi, N., ... et al. (2024). Increased activity of the catalase enzyme after physical exercise as a signal for reducing hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>): a systematic review. *Fizjoterapia Polska*.

3. Islam, M., Rauf, A., Fahad, F., Emran, T., Mitra, S., Olatunde, A., Shariati, M., ... et al. (2021). Superoxide dismutase: an updated review on its health benefits and industrial applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62, 7282 - 7300.
4. Zdarta, J., Meyer, A., Jesionowski, T., & Pinelo, M. (2019). Multi-faceted strategy based on enzyme immobilization with reactant adsorption and membrane technology for biocatalytic removal of pollutants: A critical review. *Biotechnology Advances*.
5. Ali, F., Manzoor, U., Khan, F. I., Lai, D., Khan, M. K. A., Chandrashekharaiyah, K. S., Singh, L., ... et al. (2022). Effect of polyol osmolytes on the structure-function integrity and aggregation propensity of catalase: A comprehensive study based on spectroscopic and molecular dynamic simulation measurements. *International Journal of Biological Macromolecules*.
6. Khan, M. U., Farid, A., Liu, S., Zhen, L., Alahmad, K., Chen, Z., & Kong, L. (2025). Innovative approaches for enzyme immobilization in milk processing: advancements and industrial applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 65, 6751 - 6770.
7. Silva Amatto, I. V., Rosa-Garzon, N. G., Oliveira Simões, F. A., Santiago, F., Silva Leite, N. P., Martins, J. R., & Cabral, H. (2021). Enzyme engineering and its industrial applications. *Biotechnology and applied biochemistry*, 69, 00 - 00.
8. Bauer, J. A., Zámocká, M., Majtán, J., & Bauerová-Hlinková, V. (2022). Glucose Oxidase, an Enzyme "Ferrari": Its Structure, Function, Production and Properties in the Light of Various Industrial and Biotechnological Applications. *Biomolecules*, 12.
9. Ndochinwa, O. G., Wang, Q., Amadi, O. C., Nwagu, T., Nnamchi, C., Okeke, E. S., & Moneke, A. (2024). Current status and emerging frontiers in enzyme engineering: An industrial perspective. *Heliyon*, 10.
10. Abdel-Mageed, H. M. (2025). Frontiers in nanoparticles redefining enzyme immobilization: a review addressing challenges, innovations, and unlocking sustainable future potentials. *Micro and Nano Systems Letters*, 13.
11. Kumari, M., Karn, S. K., & Raj, V. (2024). Extremophiles and Related Extremozymes: Their Structure-Function Relationship in Industrial Applications. *Industrial Biotechnology*, 20, 279 - 295.

## 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。