

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment : 廃水処理で残留過酸化水素を水と酸素に分解するカタラーゼ酵素

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 Enzyme For Wastewater Treatment は、工業排水に残留する過酸化水素 (H_2O_2) を、水 (H_2O) と酸素 (O_2) へ分解するためのカタラーゼ酵素です。過酸化水素を漂白、洗浄、殺菌、酸化処理に使った後の排水では、後段の生物処理や放流管理の前に残留酸化剤を低減する目的で利用されます。Enzymes.bioは本製品の供給業者であり、製造業者や研究所ではなく、1 kg単位でオンライン直接販売し、注文時にCoAおよびSDSを併せて提供します。

カタラーゼ酵素が廃水処理で担う役割

カタラーゼの廃水処理用途は、「排水中のあらゆる汚染物質を分解する」ことではなく、**残留過酸化水素を選択的に分解すること**にあります。過酸化水素は繊維漂白、紙・パルプ漂白、食品・包装関連の殺菌、電子部品洗浄、化学酸化、促進酸化処理などで使われますが、工程後に残ると、後段の活性汚泥、嫌気処理、好気処理、膜処理、再利用工程に影響する場合があります。カタラーゼはこの残留酸化剤を水と酸素へ変換するため、還元剤を過剰投入する方法と比べて、余分な塩負荷や残留薬剤を増やしにくい処理選択肢として位置づけられます^[1]。

基本反応は次の通りです。



この式が示す通り、過酸化水素2分子から水2分子と酸素1分子が生じます。廃水処理の現場で重要なのは、カタラーゼが過酸化水素と反応して消費される単なる中和剤ではなく、反応を促進する生体触媒である点です。条件が合えば、過酸化水素分解を短時間で進められるため、自然分解を待つ、希釈する、還元剤で処理する、といった運用に比べて工程を制御しやすくなります^[2]。

なぜ残留過酸化水素を除去する必要があるのか

過酸化水素は有用な酸化剤ですが、廃水処理工程では「残っていること」自体が問題になる場合があります。とくに生物処理は微生物群集の代謝に依存するため、酸化力を持つ成分が流入すると、微生物活性、硝化・脱窒、BOD/COD除去、汚泥性状に影響する可能性があります。また、過酸化水素はBOD測定値の解釈にも影響し得ることが報告されており、処理性能の評価や工程管理においても残留酸化剤の存在は無視できません^[3]。

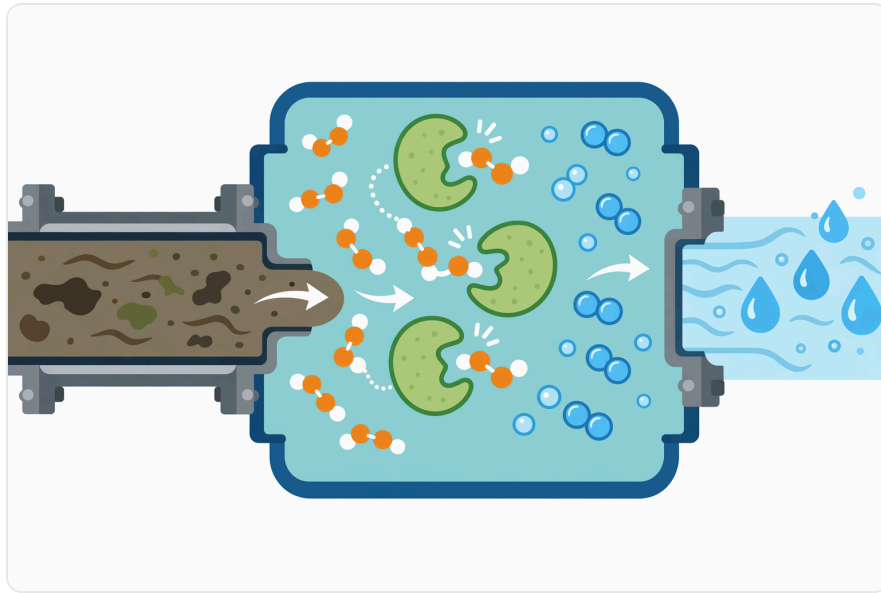


Figure 1. 카탈라아제는 산업 폐수에 남아 있는 과산화수소를 화학량론적 중화제를 추가하지 않고 물과 산소로 분해합니다.

過酸化水素は、汚染物質を酸化分解するために意図的に用いられることもあります。たとえば1,4-ジオキサンの除去では、過酸化水素を用いた紫外線促進酸化プロセスが研究されており、鉄を介した化学酸化や電気化学的な過酸化水素活性化も廃水処理技術として検討されています^[4]。ただし、酸化処理の「反応中」に必要な過酸化水素と、処理後に不要となった「残留」過酸化水素は管理上の意味が異なります。カタラーゼは主に後者、すなわち酸化工程が終わった後のクエンチングや後段保護に適した酵素です^[5]。

藻類制御や毒性シアノバクテリア対策でも、過酸化水素を含む処理アプローチが研究されています。このような用途では、目的対象に酸化ストレスを与えることが処理効果につながりますが、同時に残留過酸化水素が非標的生物や後段水処理へ与える影響も管理対象になります^[6]。したがって、カタラーゼ酵素は「過酸化水素を使う工程」と「過酸化水素を残したくない工程」の境界に配置される技術として理解すると、役割が明確になります。

作用機序：ヘム酵素としての過酸化水素分解

カタラーゼは、多くの生物に存在する酸化還元酵素で、細胞内で過酸化水素を無毒化する役割を担います。過酸化水素は活性酸素種の一つであり、タンパク質、脂質、核酸などを酸化し得るため、生物はカタラーゼなどの抗酸化酵素を使って酸化ストレスを制御しています。廃水処理で用いる場合、この自然界の防御反応を工業的な残留酸化剤除去に応用しているといえます^[7]。

機構的には、カタラーゼの活性中心が過酸化水素と反応し、酸素原子の移動と電子移動を介して水と酸素を生成します。過酸化水素は一方で酸化剤として、もう一方で還元剤として働くため、同じ基質同士が不均化反応を起こします。化学的には単純な反応ですが、酵素の活性中心が反応経路を整えることで、常温付近・水系条件で分解が進みやすくなる点が、廃水処理用途における実用上の価値です^[8]。

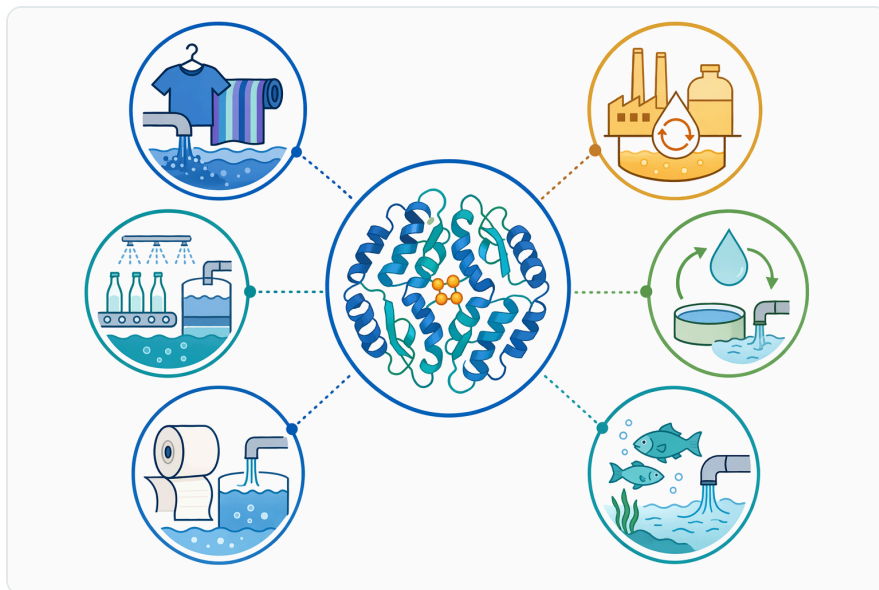


Figure 2. 과산화물이 포함된 폐수는 섬유 표백, 식음료 위생 처리, 유제품 관련 공정수, 펄프·제지 표백, 제약 세정, 병원 소독, 화학적 산화 및 산업 세정 과정에서 발생할 수 있습니다.

反応により酸素が発生するため、処理槽内では気泡、泡立ち、溶存酸素の変化が見られることがあります。これはカタラーゼ反応の正常な結果であり、密閉系、界面活性剤を含む排水、攪拌が強い槽、泡が下流設備に影響しやすいラインでは、気体発生を前提にした運用が必要です。とくに繊維、食品、洗浄排水のように発泡成分を含みやすい排水では、過酸化水素分解そのものとは別に、泡の挙動が実務上の管理点になります^[9]。

科学的根拠：カタラーゼによる過酸化水素除去の研究状況

カタラーゼによる過酸化水素分解は、生化学的に確立された反応であり、廃水処理への応用についても複数の研究があります。たとえば、キノコ由来カタラーゼをグルタルアルデヒド活性化キトサンに固定化し、人工廃水中の過酸化水素除去へ応用した研究では、固定化担体を用いて酵素を処理系内に保持する設計が検討されています^[2]。これは、カタラーゼの作用対象が過酸化水素であること、そして水処理条件下で酵素を接触させるという考え方が研究対象になっていることを示します。

連続処理に関しても、固定化カタラーゼを用いた過酸化水素除去が報告されています。廃水再利用の文脈で固定化カタラーゼによる連続的な過酸化水素除去を扱った研究や、連続流反応器で固定化カタラーゼの過酸化水素分解を高める研究があり、バッチ式だけでなく流通式処理への応用可能性が検討されています^[1]。これらはEnzymes.bioが特定の反応器を製造することを意味するものではありませんが、廃水中の残留過酸化水素をカタラーゼで処理するという技術思想を裏づける文献群です^[8]。

微生物や細胞を担体として利用するアプローチも研究されています。磁性応答性を持たせた酵母細胞による過酸化水素除去や、カタラーゼ産生菌の単離・カタラーゼ生産・排水中過酸化水素分解への応用が報告されており、遊離酵素、固定化酵素、細胞ベース処理のいずれでも、中心となる反応は過酸化水素の分解です^[10]。実務上は、使用する製品形態や工程条件に応じて、酵素を排水と十分に接触させることが処理効果の前提になります^[11]。

繊維漂白排水での位置づけ

カタラーゼ酵素の代表的な産業用途の一つが、繊維漂白後の残留過酸化水素除去です。綿やセルロース系繊維の漂白では過酸化水素が用いられることが多く、漂白後に残った過酸化水素は、染色工程で染料を酸化したり、色むらや染着不良の原因になったりする可能性があります。残留過酸化水素をカタラーゼで分解すれば、後段の染色や排水処理へ移る前に酸化性を下げやすくなります^[9]。

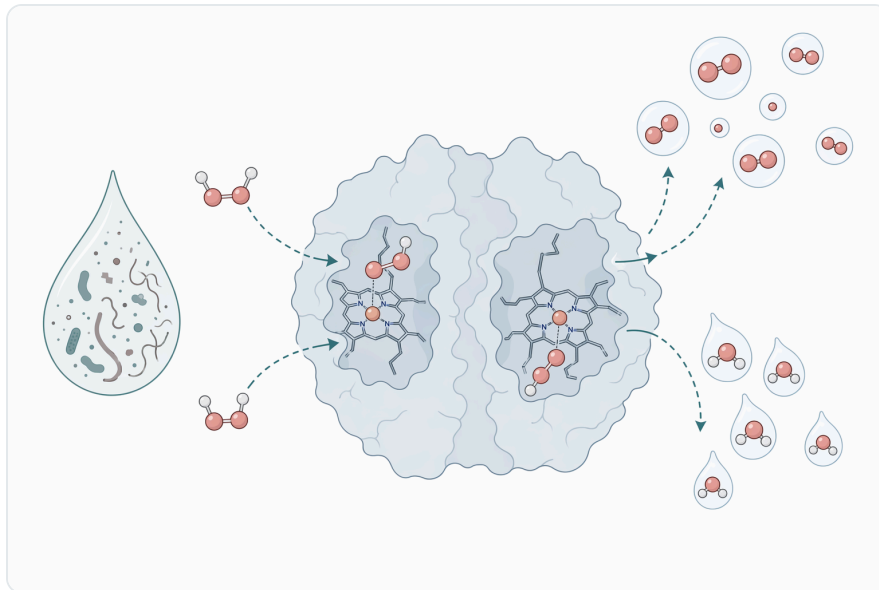


Figure 3. 카탈라아제는 활성 부위를 순환적으로 작동시켜 과산화수소 두 분자를 물 두 분자와 산소 한 분자로 전환합니다.

繊維分野では、低温かつ中性付近の条件を志向した酵素・過酸化水素処理も研究されており、過酸化水素を含む前処理や漂白の後に、その残留をどう制御するかが工程全体の品質と環境負荷に関わります^[12]。カタラーゼは染料を直接分解するための酵素ではありませんが、染色前後の残留過酸化水素を減らすことで、染色品質、排水処理、生物処理の安定化を補助する役割を担います。

紙・パルプ、電子、食品、一般工業排水での用途

紙・パルプ関連工程では、漂白や脱色に酸化剤が使われるため、過酸化水素を含む排水が発生する場合があります。残留過酸化水素は後段の生物処理や水再利用工程に影響し得るため、カタラーゼ処理は酸化工程後の仕上げ処理として適しています。ここでの目的は、繊維質、有機物、色度、CODをカタラーゼ単独で除去することではなく、酸化剤として残った H_2O_2 を分解し、次工程の条件を整えることです。

電子産業や精密洗浄でも、過酸化水素を含む薬液が酸化洗浄や表面処理に使われることがあります。この場合、排水には酸、アルカリ、金属、界面活性剤、キレート剤などが共存することがあるため、カタラーゼ反応の対象はあくまで過酸化水素に限定して考える必要があります。過酸化水素を除去した後でも、金属や無機塩、その他の化学成分には別途の処理が必要です^[13]。

食品関連工程では、洗浄、殺菌、包装材料処理などで過酸化水素が使われることがあります。食品工場の排水は有機物負荷が高く、生物処理への依存度も大きいため、残留酸化剤が流入すると微生物処理の安定性に影響する可能性があります。カタラーゼによる過酸化水素分解は、殺菌・洗浄後の酸化性を下げ、後段の生物処理へ過剰な酸化ストレスを持ち込まないための補助処理として利用されます^[14]。

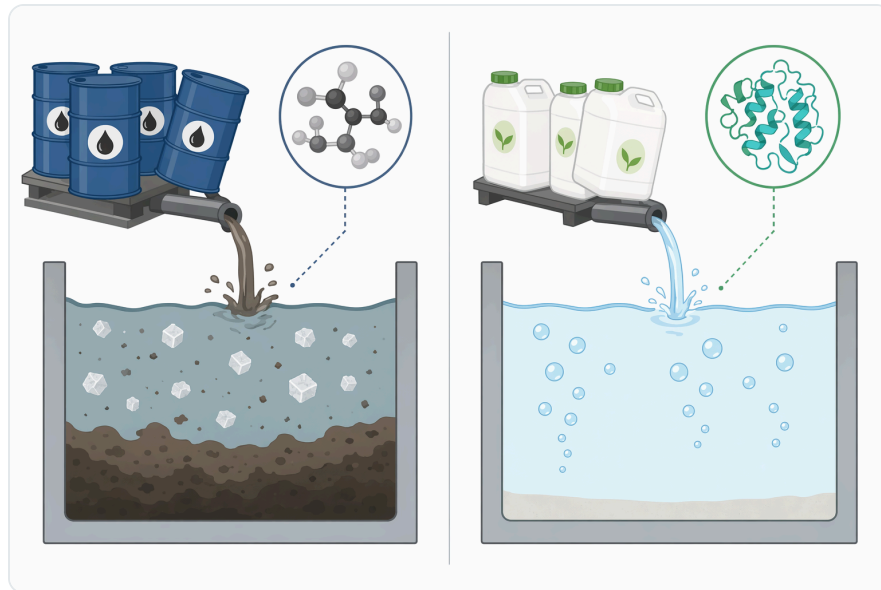


Figure 4. 카탈라아제는 과산화물 제거 반응이 중화제에서 유래한 용존 잔류 물을 생성하는 대신 물과 산소를 생성한다는 점에서 아황산염 계열의 소거 처리와 다릅니다.

促進酸化処理との違い

過酸化水素は、Fenton処理、光酸化、電気化学的酸化、鉄媒介酸化などで、ヒドロキシルラジカルなどの反応性種を発生させるために使われます。これらの処理は有機汚染物質の分解を狙うものであり、過酸化水素は「反応を起こすための原料」です。一方、カタラーゼ処理では過酸化水素を分解して水と酸素に変えるため、酸化処理の反応を止める、または後段へ持ち越さない目的で使われます^[15]。

この違いを取り違えると、工程設計上の誤解が生じます。カタラーゼを酸化処理の途中に加えると、過酸化水素が消費され、意図した酸化反応が弱まる可能性があります。したがって、カタラーゼは「酸化反応を進めたい区間」ではなく、「酸化反応を終え、残留H₂O₂を除きたい区間」に配置するのが基本です。Fenton処理の最適化や鉄媒介酸化の研究が示すように、過酸化水素を使う処理では反応条件の制御が重要であり、カタラーゼはその下流側の仕上げ管理に適した酵素です^[16]。

他の過酸化水素除去方法との比較

過酸化水素を排水から除去する方法には、自然分解を待つ、希釈する、還元剤を加える、触媒分解する、カタラーゼを用いる、といった選択肢があります。どの方法にも適した場面がありますが、カタラーゼの特徴は、対象が明確で、生成物が水と酸素であり、塩類負荷を増やしにくい点です^[1]。

方法	主な作用	利点	留意点	適した位置づけ
カタラーゼ 酵素	H ₂ O ₂ をH ₂ Oと O ₂ へ分解	副生成物が少ない、残 留酸化剤を直接処理で きる	pH、温度、阻害成 分、泡発生の影響を受 ける	生物処理前、再利用 前、放流前の残留 H ₂ O ₂ 低減
自然分解・ 滞留	時間経過で H ₂ O ₂ が分解	薬剤追加が少ない	時間と槽容量が必要、 分解速度を制御しにく い	低負荷・時間に余裕が ある場合
希釈	H ₂ O ₂ 濃度を下 げる	操作が単純	水使用量が増える、総 量は減らない	一時的な濃度緩和
還元剤処理	化学還元で H ₂ O ₂ を消費	反応が速い場合がある	塩類、残留薬剤、 ORP変化が発生し得 る	酵素が適さない条件で の化学的処理
Fenton・促 進酸化	H ₂ O ₂ を反応性 酸化種へ変換	有機汚染物質分解を狙 える	反応制御、鉄、pH、 後処理が必要	難分解性有機物の酸化 処理

この比較から分かるように、カタラーゼはCOD、色度、医薬品、染料、重金属を包括的に除去する技術ではありません。染料脱色ではラッカーゼなど別の酸化還元酵素が研究され、重金属除去ではゼオライト、改変酵母、吸着材など異なるアプローチが検討されています^[17]。カタラーゼを適切に評価するには、処理対象を「残留過酸化水素」に絞ることが重要です^[18]。

工程内での使い方の考え方

カタラーゼ酵素を廃水処理に組み込む際は、まず過酸化水素がどの工程で使用され、どのタイミングで不要になるかを明確にします。漂白、洗浄、殺菌、酸化処理の直後に残留H₂O₂が問題になる場合、カタラーゼは後段の生物処理槽、再利用ライン、放流前処理へ入る前の接触工程で機能します。重要なのは、酵素が排水と十分に混合され、過酸化水素と接触できる状態を作ることです。

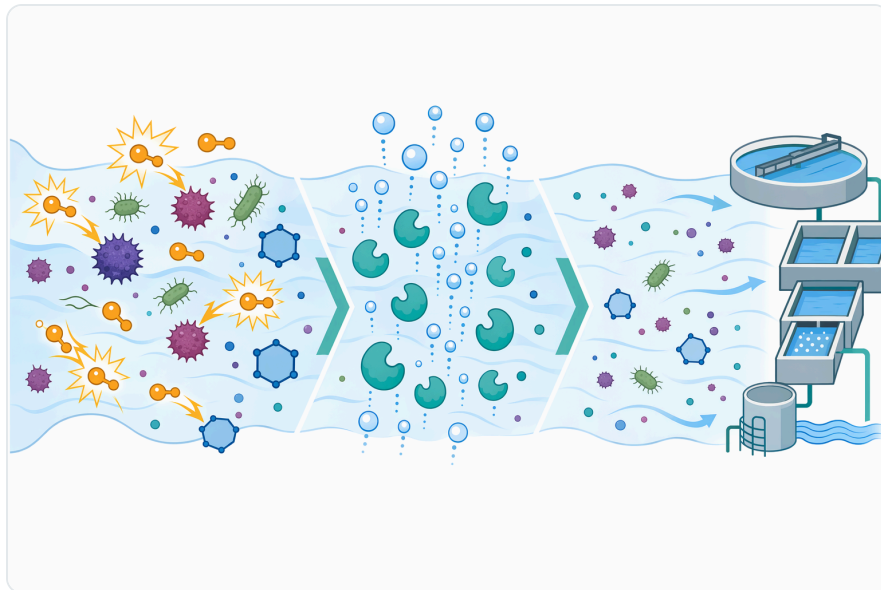


Figure 5. 카탈라아제는 과산화수소의 잔류 산화력을 제거하고 산소를 방출하지만, 그 자체로 다른 폐수 오염물질을 제거하지는 않습니다.

連続ラインでは、配管内混合、接触槽、攪拌槽などで反応時間を確保する考え方が一般的です。バッチ処理では、排水を均一化したうえで酵素を加え、過酸化水素が分解されるまで接触させます。ただし、ここで扱うべきなのは工程設計の原則であり、Enzymes.bioが特定の装置、分析手順、反応器仕様を提供するわけではありません。固定化カタラーゼの連続処理研究は存在しますが、実際の設備設計は各施設の排水組成、流量、温度、pH、混合条件に依存します^[8]。

酵素はタンパク質であるため、極端なpH、高温、強い酸化還元条件、一部の金属イオン、界面活性剤、有機溶媒などで性能が低下する可能性があります。これはカタラーゼに限らず、廃水処理用酵素全般に共通する制約です。近年は、熱安定性や産業条件への耐性を高めたカタラーゼのタンパク質工学、極限環境酵素、酵素担体材料の研究も進んでいますが、これらは酵素処理をより厳しい廃水条件へ適用するための研究動向として理解すべきです^[7]。

酵素処理としての利点

カタラーゼの第一の利点は、反応生成物が水と酸素であることです。過酸化水素を還元剤で処理する場合、投入した化学薬剤由来の塩類や副生成物が水質に影響する可能性があります。カタラーゼは H_2O_2 そのものを分解対象にするため、酸化剤を除く目的に対して化学的に分かりやすく、後段工程へ余分な反応性成分を持ち込みにくい点が評価されます^[2]。

第二に、生物処理前の酸化ストレス低減に役立つ可能性があります。活性汚泥や生物膜処理では微生物群集が有機物除去や栄養塩変換を担うため、残留過酸化水素のような酸化剤が流入すると、処理性能の変動要因になり得ます。カタラーゼで残留 H_2O_2 を下げることは、生物処理そのものを代替

するのではなく、生物処理が働きやすい水質へ整える前処理または仕上げ処理として意味があります^[19]。

第三に、水使用量と処理待ち時間の低減に寄与し得ます。残留過酸化水素を希釈や長時間滞留で管理している場合、カタラーゼによる分解は、よりコンパクトな工程運用を可能にすることがあります。とくに漂白や洗浄の後に大量のリンス水を使って酸化剤を薄めている工程では、酵素分解を組み込むことで、過酸化水素管理の考え方を「薄める」から「分解する」へ移行できます^[9]。

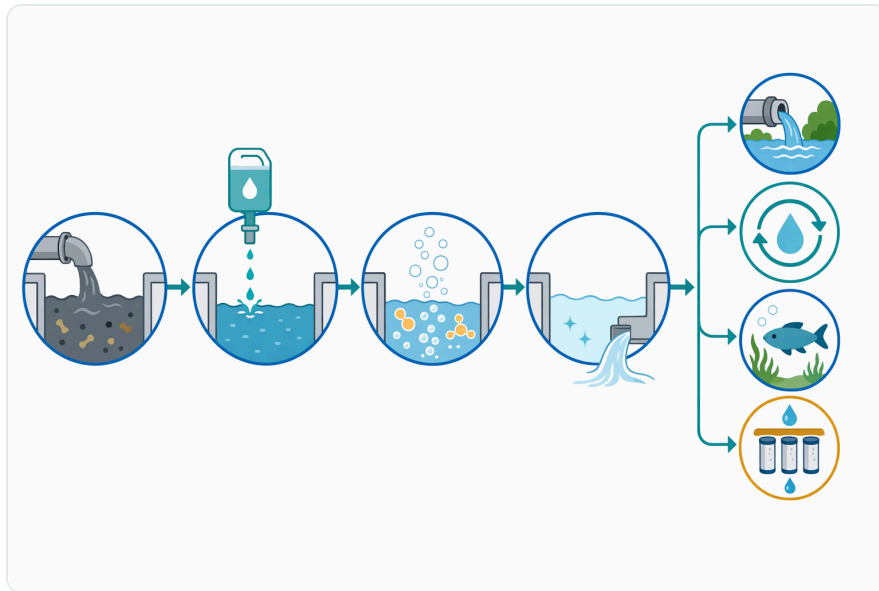


Figure 6. 실제 카탈라아제 처리 단계는 유입수와의 적합성, 효과적인 혼합, 충분한 접촉 시간, 산소 관리, 잔류 과산화수소 감소 확인에 달려 있습니다.

限界：カタラーゼで処理できるもの、できないもの

カタラーゼは過酸化水素分解に特化した酵素です。そのため、COD、BOD、窒素、リン、油分、界面活性剤、染料、重金属、医薬品、PFAS、塩類を一括して処理する技術ではありません。たとえば、染料脱色にはラッカーゼ、重金属除去には吸着材や生物吸着、凝集沈殿、イオン交換などが研究・利用されます。カタラーゼの役割を過剰に広げず、残留 H_2O_2 除去という明確な機能に限定して設計することが、期待値のずれを防ぎます^[20]。

また、カタラーゼ反応は過酸化水素が存在して初めて意味を持ちます。排水中に過酸化水素がほとんど残っていない場合、カタラーゼを加えても処理すべき基質がありません。逆に、過酸化水素以外の酸化剤、強酸、強アルカリ、金属錯体、有機溶媒などが支配的な排水では、酵素の安定性や反応効率が制約される可能性があります。したがって、カタラーゼは万能な廃水処理剤ではなく、工程由来の H_2O_2 残留が確認される排水に対して合理的な選択肢です^[21]。

酸素発生も設計上の注意点です。反応生成物として酸素が出ることは環境面では扱いやすい一方、密閉配管、発泡しやすい排水、泡がセンサーやポンプに影響する設備では、ガス抜きや泡管理が必要になることがあります。これはカタラーゼ処理の欠点というより、反応式から必然的に生じる運用上の現象です^[1]。

Enzymes.bioでの提供形態

Enzymes.bioは、Catalase Enzyme For Wastewater TreatmentをB2B向けに供給するオンライン酵素サプライヤーです。本製品は、廃水中の残留過酸化水素を分解する目的で販売されており、1 kg単位でオンライン直接購入できます。Enzymes.bioは製造業者または研究所としてではなく、工業用途の酵素製品を販売・配送する供給業者として位置づけられます。

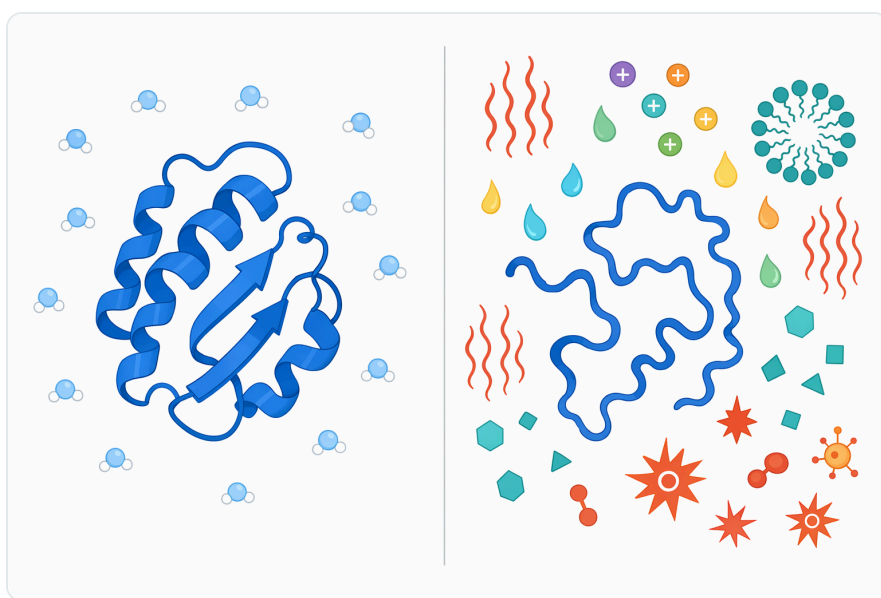


Figure 7. 폐수 조건이 단백질 구조를 손상시키거나 효소 활성 부위를 저해하면 카탈라아제의 성능이 저하될 수 있습니다.

注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。CoAは製品ロットに関する成績情報、SDSは保管・取扱い・安全管理に関する情報を確認するための文書です。製品の使用場面としては、繊維、紙・パルプ、電子、食品、一般工業排水など、過酸化水素を工程内で使用し、その残留を後段へ持ち越したくない処理ラインが中心になります。

まとめ：残留H₂O₂除去に特化した酵素処理

Catalase Enzyme For Wastewater Treatmentは、過酸化水素を使用する工業工程の後段で、残留H₂O₂を水と酸素へ分解するためのカタラーゼ酵素です。科学的な中核は明確で、反応対象は過酸化水素、生成物は水と酸素です。これにより、化学還元剤による塩負荷や残留薬剤を抑えながら、後段の生物処理、再利用、放流管理の前に酸化性を低減する選択肢になります^[2]。

一方で、カタラーゼは廃水中のすべての汚染物質を除去する万能処理ではありません。染料、重金属、COD、窒素、リン、難分解性有機物には、それぞれ別の処理技術が必要です。カタラーゼを最も有効に使えるのは、漂白、洗浄、殺菌、酸化処理の後に過酸化水素が残り、その残留が後段工程の安定性や水質管理上の課題になっている場合です^[5]。

Enzymes.bioは本製品を1 kg単位でオンライン直接販売し、注文時にCoAおよびSDSを提供します。廃水処理工程で残留過酸化水素を副生成物の少ない方法で分解したい場合、Catalase Enzyme For Wastewater Treatmentは、明確な作用機序を持つ実務的な酵素処理オプションとして検討できます。

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment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 Enzyme For Wastewater Treatment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. Yoon, D., Won, K., Kim, Y. H., Song, B., Kim, S. J., Moon, S., & Kim, B. S. (2007). Continuous removal of hydrogen peroxide with immobilised catalase for wastewater reuse. *Water Science and Technology*, 55 1-2, 27-33 .
2. Tabaru, I. N., & Türkhan, A. (2024). Immobilisation of catalase purified from mushroom (*Hydnum repandum*) onto glutaraldehyde-activated chitosan and characterisation: Its application for the removal of hydrogen peroxide from artificial wastewater. *Green Processing and Synthesis*, 13.
3. Bezsenyi, A., Sági, G., Makó, M., Wojnárovits, L., & Takács, E. (2021). The effect of hydrogen peroxide on the biochemical oxygen demand (BOD) values measured during ionizing radiation treatment of wastewater. *Radiation Physics and Chemistry*, 189, 109773.
4. Shukla, T. L., & Duranceau, S. (2023). Comparing Hydrogen Peroxide and Sodium Perborate Ultraviolet Advanced Oxidation Processes for 1,4-Dioxane Removal from Tertiary Wastewater Effluent. *Water*.
5. Han, M., Wang, H., Jin, W., Chu, W., & Xu, Z. (2022). The performance and mechanism of iron-mediated chemical oxidation: Advances in hydrogen peroxide, persulfate and percarbonate oxidation. *Journal of Environmental Science*, 128, 181-202 .

6. Dahedl, E. K., Hancock, T. L., Kratz, M. A., & Urakawa, H. (2024). A combination cyanobacterial treatment approach using hydrogen peroxide and L-lysine successfully improved the removal efficiency of toxic cyanobacteria. *Journal of Environmental Management*, 373, 123503 .
7. Xu, S., Ya-Chen, Xiang-Meng, Pan, R., Yan, A., Zhi-Li, & Zong-Li (2025). Computational-assisted protein engineering to develop thermostable and highly active catalase for industrial and biocatalytic applications. *Bioresource Technology*, 133081 .
8. Li, Y., Zhang, Y., Zhang, W., Wu, H., & Zhang, S. (2024). Enhanced Hydrogen Peroxide Decomposition in a Continuous-Flow Reactor over Immobilized Catalase with PAES-C. *Polymers*, 16.
9. Fenta, W. A., Haile, A., & Nalankilli, G. (2017). Removal of Residual Hydrogen Peroxide in Cotton Bleaching using Catalase Enzyme. *International journal of industrial engineering*.
10. Šafařík, I., Sabatkova, Z., & Šafaříková, M. (2008). Hydrogen peroxide removal with magnetically responsive *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 17, 7925-8 .
11. Kataria, M., Saini, J., Singh, M., & Kumar, K. (2016). Isolation of catalase producing bacteria, production of catalase and its application to degrade hydrogen peroxide from effluent. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 4, 34-37.
12. Shan, Z., Zhou, M., Wang, P., Yu, Y., Zhang, J., Wang, L., Dong, A., ... et al. (2025). An enzyme-hydrogen peroxide one-step preparation of cotton knitted fabric under low-temperature and near-neutral condition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141376 .
13. Buzukashvili, S., Sommerville, R., Rowson, N., & Waters, K. (2023). An overview of zeolites synthesised from coal fly ash and their potential for extracting heavy metals from industrial wastewater. *Canadian metallurgical quarterly*, 63, 130 - 152.
14. Mishra, B., Kallem, P., Yadavalli, R., Mandal, S. K., Reddy, C. N., Sumithra, B., Lakshmayya, N., ... et al. (2025). Industrial wastewater treatment using extracellular polymer substances/biofloculants: a review. *Applied Water Science*, 15.
15. Escobedo, E., Cho, K., & Chang, Y. (2021). Electrochemical activation of hydrogen peroxide, persulfate, and free chlorine using sacrificial iron anodes for decentralized wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 423 Pt A, 127068 .
16. Tanyol, M., Serdar, O., Ketenalp, Z., Yıldırım, N., Erguven, G., & Yıldırım, N. (2024). The RSM - CCD Optimization of Fenton Process for Industrial Wastewater Treatment and Determination of Treatment Efficiency Using Some Biochemical Responses in *Dreissena polymorpha*. *ChemistrySelect*.
17. Salem, M. M., Mohamed, T. M., Shaban, A. M., Mahmoud, Y., Eid, M. A., & El-Zawawy, N. A. (2024). Optimization, purification and characterization of laccase from a new endophytic *Trichoderma harzianum* AUMC14897 isolated from *Opuntia ficus-indica* and its applications in dye decolorization and wastewater treatment. *Microbial Cell Factories*, 23.
18. Luo, H., Su, Z., Liu, Y., Yuan, D., Wang, R., Ning, Y., Zhang, D., ... et al. (2024). Effective removal of Pb from industrial wastewater: A new approach to remove Pb from wastewater based on engineered yeast. *Journal of Hazardous Materials*, 481, 136516 .

19. Díaz, L. K. C., Berná, A., & Boltes, K. (2024). Bioelectroremediation of a Real Industrial Wastewater: The Role of Electroactive Biofilm and Planktonic Cells through Enzymatic Activities. *Toxics*, 12.
20. Sayahi, N., Othmani, B., Mnif, W., Algarni, Z., Khadhraoui, M., & Rebah, F. B. (2025). Clay Minerals as Enzyme Carriers for Pollutant Removal from Wastewater: A Comprehensive Review. *Minerals*.
21. Chaudhari, T. B., Shinde, T. A., Shirsath, L. P., & Patil, S. P. (2025). Smart Extremozymes: The Next-Generation Biocatalysts for Sustainable Industrial Wastewater Management. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*.


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。