

# Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase (ALDC) : ビール醸造のジアセチル管理と熟成工程短縮に使う食品加工用酵素

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

Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase (ALDC) は、ビール中のバター様オフフレーバーであるジアセチルの前駆体、 $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換する食品加工用酵素です。ジアセチルが生成された後に熟成で低減させるのではなく、前駆体段階で別経路へ導くため、醸造工程の熟成負荷、タンク占有期間、香味ばらつきの低減に役立ちます。Enzymes.bioでは、本酵素をビール醸造向けの1kg単位オンライン販売製品として供給しており、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

## ALDCとは何か： $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ導く酵素

A-Acetolactate Decarboxylase、一般にALDCと呼ばれる酵素は、 $\alpha$ -アセト乳酸を脱炭酸してアセトインへ変換します。ビール醸造で重要なのは、この反応がジアセチル生成の「前」に起こる点です。発酵中、酵母は分岐鎖アミノ酸の生合成に関わる代謝の中で $\alpha$ -アセト乳酸を生成し、その一部が細胞外へ移行します。 $\alpha$ -アセト乳酸はその後、酸化的な非酵素反応によってジアセチルへ変わり、ビールにバター様、バタースコッチ様、油脂様と表現される風味を与えることがあります。ALDCはこの分岐点で $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換するため、ジアセチルが蓄積する前の段階でリスクを下げる酵素として使われます<sup>[1]</sup>。

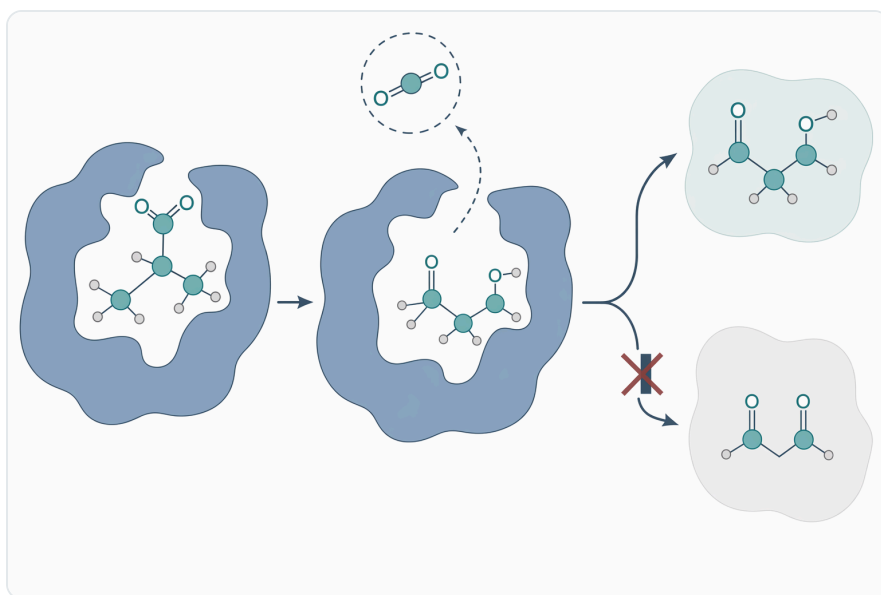
アセトイン自体は発酵・代謝経路でよく扱われるC4化合物であり、微生物によるアセトイン生産やその周辺代謝は、*Saccharomyces cerevisiae*や*Zymomonas mobilis*を用いた研究でも検討されています。これらの研究は醸造添加を直接扱うものではありませんが、アセトイン、2,3-ブタンジオール、NADH酸化還元バランスが微生物代謝の中で密接に関係することを示しており、ALDC反応で生成するアセトインが発酵化学の中で孤立した特殊物質ではないことを理解する助けになります<sup>[2]</sup>。

Enzymes.bioが供給するFood Grade A-Acetolactate Decarboxylaseは、ビール醸造でジアセチル前駆体を管理する用途に向けた食品加工用酵素です。Enzymes.bioは製造業者や研究所ではなく、食品・バイオプロセス向け酵素をオンラインで供給するB2Bサプライヤーです。本製品は1kg単位でオンライン購入でき、注文時にCoAおよびSDSが提供されます。

## ビール醸造で問題になるジアセチルの位置づけ

ジアセチルは、ビールの官能品質を左右する代表的なビシナルジケトンです。すべてのビールで完全にゼロでなければならないという単純な話ではありませんが、多くのラガー、ピルスナー、ライトなエール、ニュートラルな香味を狙う製品では、意図しないジアセチルは明確な品質リスクになります。特に、ホップやモルトの設計でクリーンな後味を重視する製品では、わずかなバター様ノートが全体のバランスを崩すことがあります。古典的な醸造研究でも、ALDCを用いたビール熟成が、ジアセチル管理と工程時間に関係する技術として扱われています<sup>[1]</sup>。

通常の工程では、ジアセチルは主発酵後の熟成中に酵母によって取り込まれ、アセトインや2,3-ブタンジオールなど、より香味影響の小さい化合物へ還元されます。しかし、この低減は酵母の健康状態、発酵温度、発酵末期の残存糖、酸素、酵母回収のタイミング、タンク内滞留時間に左右されます。つまり、ジアセチルは「発生してから待てば必ず計画通り下がる」ものではなく、工程設計と生産計画の両方に影響する管理対象です。



**Figure 1.** ALDC는 다이아세틸이 생성되기 전 단계에서  $\alpha$ -아세토락테이트에 작용하여 이 전구체를 아세토인과 이산화탄소로 전환합니다.

ALDCの実務価値は、発酵を速くすることそのものではなく、ジアセチル前駆体の流れを変えることにあります。 $\alpha$ -アセト乳酸がジアセチルへ向かう前にアセトインへ変われば、後段の熟成で酵母に処理させるジアセチル負荷が下がります。これにより、醸造所は香味安定性を保ちながら、熟成タンクの占有期間を読みやすくし、バッチ間のばらつきも抑えやすくなります<sup>[1]</sup>。

# 作用機序：ジアセチルを「後で処理」するのではなく「前駆体で制御」する

## 通常経路： $\alpha$ -アセト乳酸からジアセチルへ

酵母の分岐鎖アミノ酸代謝では、 $\alpha$ -アセト乳酸が中間体として関与します。この物質が細胞外へ出ると、発酵液中で酸化的にジアセチルへ変わります。ジアセチルはその後、酵母によって再び取り込まれ、還元を受けてアセトイン、さらに2,3-ブタンジオールへ向かうことがあります。したがって、醸造現場で観察されるジアセチル濃度は、前駆体の生成、細胞外への移行、酸化、酵母による再取り込み、還元バランスで決まります<sup>[1]</sup>。

この通常経路では、ジアセチルがいったん生成されるため、熟成工程が品質上の安全弁になります。発酵末期に温度を上げる、十分な酵母接触を確保する、発酵終了後の保持時間を調整するなど、ジアセチル低減のための工程操作が必要になります。これらは有効ですが、時間、冷却容量、タンク回転率を消費します。

## ALDC経路： $\alpha$ -アセト乳酸から直接アセトインへ

ALDCを使う場合、 $\alpha$ -アセト乳酸はジアセチルを経由せずにアセトインへ変換されます。ここで重要なのは、ALDCがジアセチルを直接分解する酵素ではないことです。ALDCの標的はジアセチルそのものではなく、その前駆体である $\alpha$ -アセト乳酸です。このため、ジアセチルが多量に生じた後に対処するよりも、発酵中の前駆体段階で介入する設計の方が、ALDCの特性に合っています<sup>[1]</sup>。

アセトインは、工業微生物による発酵生産でも研究されている化合物で、微生物の還元代謝や副生成物制御と関連します。例えば、*Saccharomyces cerevisiae*でアセトイン蓄積を高める研究では、2,3-ブタンジオール生成に関わる経路やNADH酸化の調整が検討されており、アセトインが発酵系の炭素・酸化還元バランスに結び付く代謝産物であることが示されています<sup>[2]</sup>。

## 醸造品質上の意味

ALDC反応の品質上の意味は、香味リスクの時間軸を前倒しで制御できる点にあります。従来の熟成では「できたジアセチルを酵母が低減するまで待つ」設計になります。一方、ALDCでは「ジアセチルになる前に前駆体を別化合物へ変える」設計になります。この違いにより、熟成期間中のジアセチル再上昇や、パッケージング前の判定遅れのリスクを下げやすくなります。

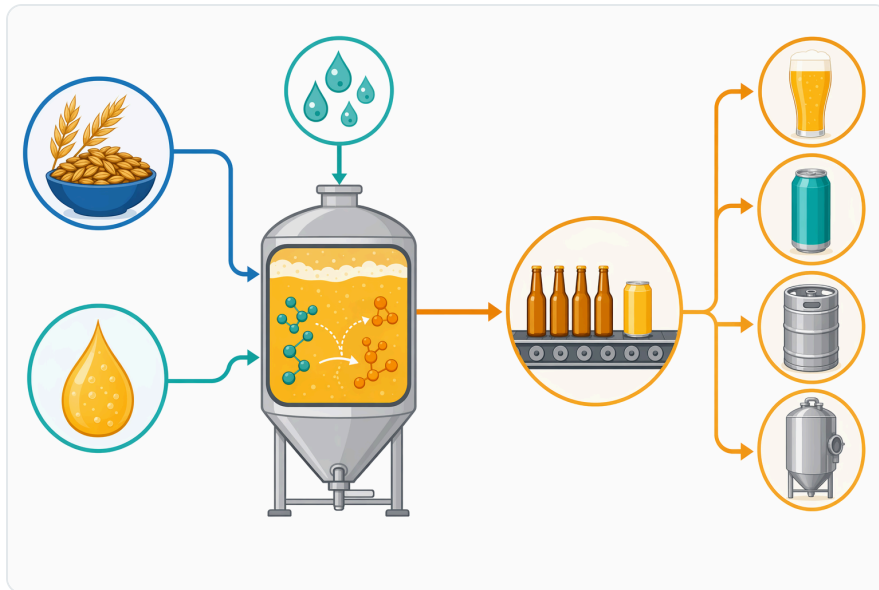


Figure 2. 다이아세틸 위험은 전구체의 배출, 화학적 전환, 시간에 따른 효모의 제거 과정에서 발생하며, ALDC는 이취 성분이 축적되기 전에 개입합니다.

## 従来管理とALDC利用の比較

観点	従来 of ジアセチル管理	ALDCを組み込んだ管理
主な制御点	ジアセチル生成後の酵母還元	$\alpha$ -アセト乳酸段階での変換
対象化合物	生成済みジアセチル	ジアセチル前駆体の $\alpha$ -アセト乳酸
工程上の意味	熟成保持時間への依存が大きい	熟成工程のジアセチル負荷を下げやすい
香味リスク	発酵末期・熟成中の再評価が必要	前駆体制御によりばらつきを抑えやすい
タンク運用	ジアセチル低減待ちで占有が長引く場合がある	タンク回転計画を立てやすくなる可能性
注意点	酵母活性と温度管理が重要	発酵管理の代替ではなく補助技術

ALDCは、従来の酵母管理を不要にするものではありません。酵母の健全性、発酵温度、酸素管理、麦汁組成、衛生管理が不適切であれば、ジアセチル以外の香味欠陥や発酵不良は残ります。ALDCの役割は、醸造全体を単純化することではなく、ジアセチル前駆体という特定のボトルネックを酵素的に処理することです<sup>[1]</sup>。

## Bacillus由来ALDCと食品加工酵素としての背景

---

ALDCは、微生物由来酵素として研究・利用されてきました。 $\alpha$ -アセト乳酸の合成、ALDC産生菌の同定・選抜に関する研究では、細菌がALDC活性を持つ酵素を産生し得ることが扱われています。これは、醸造向けALDCが微生物酵素として位置づけられる背景を理解する上で有用です<sup>[3]</sup>。

Enzymes.bioの製品ページでは、Food Grade A-Acetolactate Decarboxylaseがビール醸造向けの粉末酵素として紹介され、 $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換してジアセチル形成を抑える用途が説明されています。ただし、Enzymes.bioは製造業者ではなく、製造工程の実施主体や研究機関としてではなく、B2B酵素サプライヤーとして製品を供給しています。

食品加工用酵素として扱う場合でも、規制上の分類や表示要件は国・地域・用途・最終製品によって異なります。ALDCは一般に加工工程中で機能するプロセス酵素として理解されますが、最終製品での扱いは各事業者の品質保証・法規制判断に従う必要があります。ここで重要なのは、ALDCを香味改良剤のように広く曖昧に捉えるのではなく、 $\alpha$ -アセト乳酸からジアセチルへの経路を制御する酵素として限定的かつ明確に位置づけることです。

## ビールスタイル別に見た利用価値

---

### ラガー、ピルスナー、クリーンな低温発酵ビール

ラガーやピルスナーでは、クリーンな香味、低いエステル感、明瞭なモルト・ホップバランスが重視されます。そのため、バター様ノートが少量でも目立ちやすく、ジアセチル管理は特に重要です。低温発酵・低温熟成では、酵母代謝の速度が落ちるため、ジアセチル低減に時間がかかることがあります。ALDCは前駆体をアセトインへ変換することで、熟成で処理すべきジアセチルの発生を抑える方向に働きます<sup>[1]</sup>。

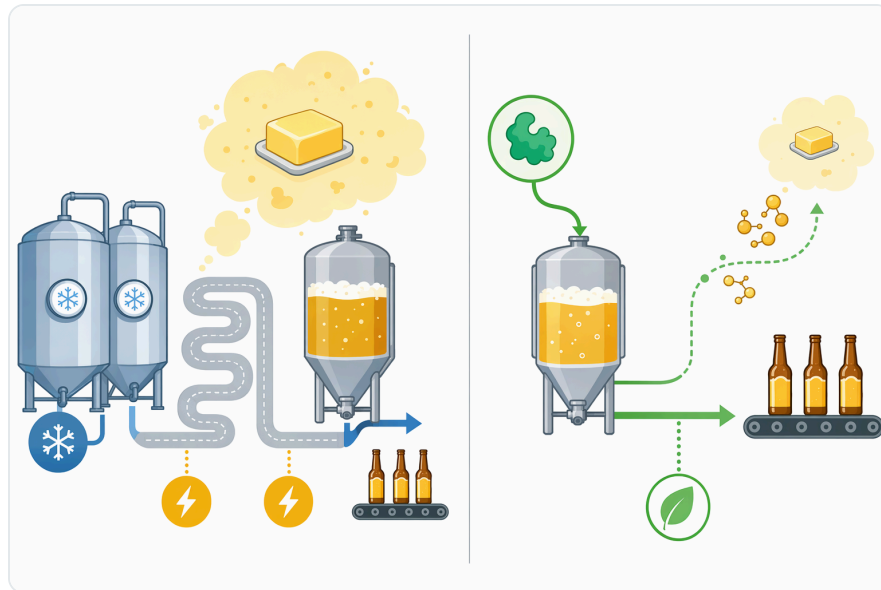


Figure 3. 예방적 ALDC 처리는  $\alpha$ -아세트락테이트 풀을 줄인다는 점에서, 이후 효모가 다이아세틸을 환원하는 데만 의존하는 전통적인 다이아세틸 관리와 다릅니다.

## 大規模醸造でのタンク回転率とバッチ安定性

大規模醸造では、タンク1本あたりの保持日数が生産能力に直結します。ジアセチルが目標範囲に下がるまでパッケージングを待つ必要がある場合、計画した出荷スケジュールや次バッチの仕込みに影響します。ALDCは、ジアセチル前駆体を早期に処理することで、熟成完了判定を安定させやすくします。歴史的にも、ビール熟成におけるALDC利用は、ジアセチル管理と工程効率の接点として研究されてきました<sup>[1]</sup>。

## クラフト醸造での限られたタンク資源の活用

クラフト醸造では、レシピの多様性、タンク数の制約、冷蔵容量の限界が同時に存在することがあります。ジアセチル低減のために予想以上の熟成日数が必要になると、新製品の仕込み、限定品の出荷、季節商品の切り替えに影響します。ALDCは熟成を完全に不要にする酵素ではありませんが、ジアセチル前駆体を処理することで、熟成工程をより予測しやすくします。

## 高発酵度・高比重・特殊原料を使うビール

高比重麦汁、特殊モルト、副原料、栄養バランスが変化するレシピでは、酵母のアミノ酸代謝や発酵末期の挙動が変わることがあります。こうした条件では、 $\alpha$ -アセト乳酸の生成やジアセチルの低減挙動も一定ではありません。ALDCはこうした複雑な条件でも、標的を $\alpha$ -アセト乳酸に限定して作用するため、レシピ全体を変えずにジアセチル前駆体管理を補強する選択肢になります。

## アセトイン経路を理解する：ALDC反応後に何が起こるか

ALDC反応で生成するアセトインは、発酵代謝の文脈では2,3-ブタンジオール経路と関連します。Saccharomyces cerevisiaeを用いた研究では、NAD(P)H依存性のケトン還元酵素を改変することで、アセトインや2,3-ブタンジオールの生成バランスが変わることが示されています。これは、アセトインが単なる終点ではなく、微生物内の還元反応や補酵素バランスとつながる中間的な代謝産物であることを示します<sup>[4]</sup>。

Zymomonas mobilisの代謝工学研究でも、炭素分配と補酵素バランスを調整してアセトイン生産を高める試みが行われています。醸造現場でALDCを用いる目的はアセトインを大量生産することではありませんが、これらの研究は、アセトイン形成が微生物発酵における合理的な代謝経路の一部であることを補強します<sup>[5]</sup>。

ビール品質の観点では、ALDCの狙いは「望ましくないジアセチルを、より問題になりにくい方向へ流す」ことです。アセトインにも官能的性質はありますが、ジアセチルほど強いバター様オフフレーバーとして扱われることは一般的に少なく、ジアセチル管理上は前駆体をアセトインへ向けることが実務的に有利です。

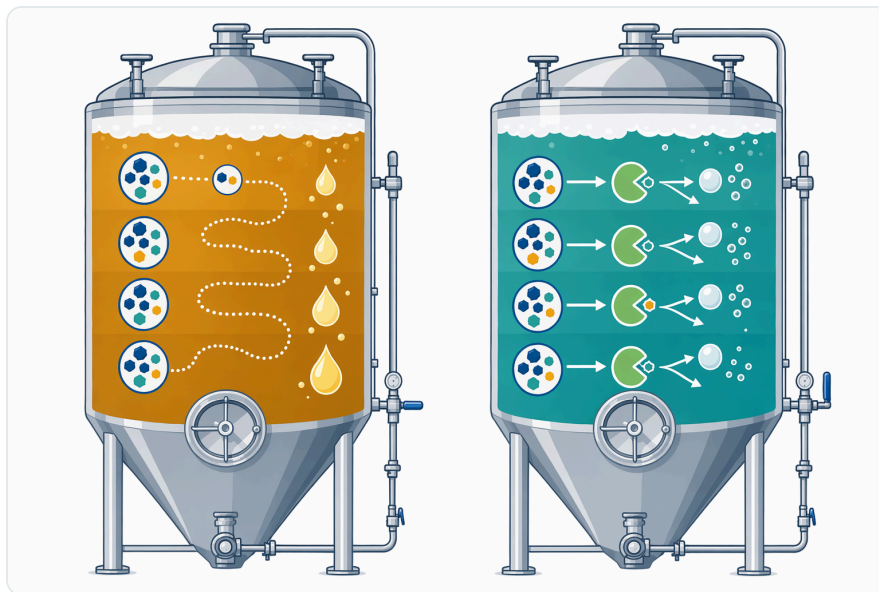


Figure 4. 양조 연구들은 발효 중 ALDC 활성을 활용하면 다이아세틸로 이어지는 경로를 줄이는 데 도움이 된다는 점을 뒷받침합니다.

## 工程内での考え方：添加タイミングよりも前駆体制御の理解が重要

ALDCは、 $\alpha$ -アセト乳酸が生成される発酵段階に作用する酵素です。したがって、単に熟成後に何かを追加して風味を修正するという考え方ではなく、発酵中の前駆体制御として設計することが重要です。ジアセチルがすでに増えた後では、ALDCの標的である $\alpha$ -アセト乳酸が減っている可能性

があり、酵素の利点を最大限に活かしくくなります<sup>[1]</sup>。

実際の結果は、酵母株、麦汁組成、発酵温度、溶存酸素、酵母ピッチング状態、熟成設計、目標とするビールスタイルによって変わります。ALDCは一つの反応を明確に担う酵素ですが、ビールは複数の反応と物理的工工程が重なった製品です。そのため、「ALDCを使えば常に同じ日数だけ熟成が短くなる」といった単純な表現は適切ではありません。正確には、ALDCはジアセチル前駆体をアセトインへ変換することで、熟成中に解決すべきジアセチル負荷を下げる方向に働きます。

Enzymes.bioの製品は、1kg単位でオンライン購入できるB2B向け酵素製品として提供されています。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されるため、社内の受入記録、安全管理、品質関連文書と紐づけて保管できます。Enzymes.bioは供給業者であり、製造業者や試験研究機関としてではなく、食品・バイオプロセス用途の酵素を調達しやすい形で提供する立場です。

## ALDCの利点を実務的に整理する

第一の利点は、ジアセチルの「生成後」ではなく「生成前」に介入できることです。熟成工程でジアセチルが下がるのを待つ場合、酵母活性や温度条件に左右されます。ALDCは $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換するため、ジアセチルが蓄積する前の段階でリスクを下げます<sup>[1]</sup>。

第二の利点は、熟成工程の予測性です。醸造所にとって重要なのは、単に最短時間で出荷することではなく、品質判定が安定して計画通りに進むことです。ジアセチルが想定より遅く下ると、追加保持、再検査、出荷遅延が発生します。ALDCは前駆体制御により、こうした工程上の不確実性を下げる助けになります。



**Figure 5.** ALDC는 라거, 필스너, 라이트 라거, 퀴슈 스타일 맥주, 깔끔한 에일처럼 깨끗한 풍미 프로필이 중요한 발효주와 버터 향이 바람직하지 않은 기타 음료에 특히 적합합니다.

第三の利点は、既存の発酵設計に組み込みやすいことです。ALDCは糖化酵素や酵母の代替ではありません。麦汁糖組成、発酵度、エステル生成、硫黄化合物、ホップアロマなど、ビールの主要な香味形成は引き続き原料と酵母、工程管理によって決まります。ALDCはその中で、ジアセチル前駆体という明確な対象を扱う補助的なプロセス酵素です。

第四の利点は、複数の醸造規模で意味を持つことです。大規模醸造ではタンク回転率とバッチ均一性、クラフト醸造では限られたタンク資源と製品切り替え、ラガー醸造では低温熟成の時間負荷が課題になります。ALDCはこれらすべてに同じ形で万能に効くわけではありませんが、共通してジアセチル前駆体を管理するという一点で有用性を持ちます。

## 誇張せずに理解すべき制限

---

ALDCは、すべてのオフフレーバーを除去する酵素ではありません。硫黄臭、アセトアルデヒド、酸化臭、フェノール、過剰なエステル、微生物汚染由来の異臭は、ALDCの標的ではありません。ALDCが扱うのは、 $\alpha$ -アセト乳酸からジアセチルへ向かう経路です。この対象を明確にすることで、工程改善の期待値を正しく設定できます<sup>[1]</sup>。

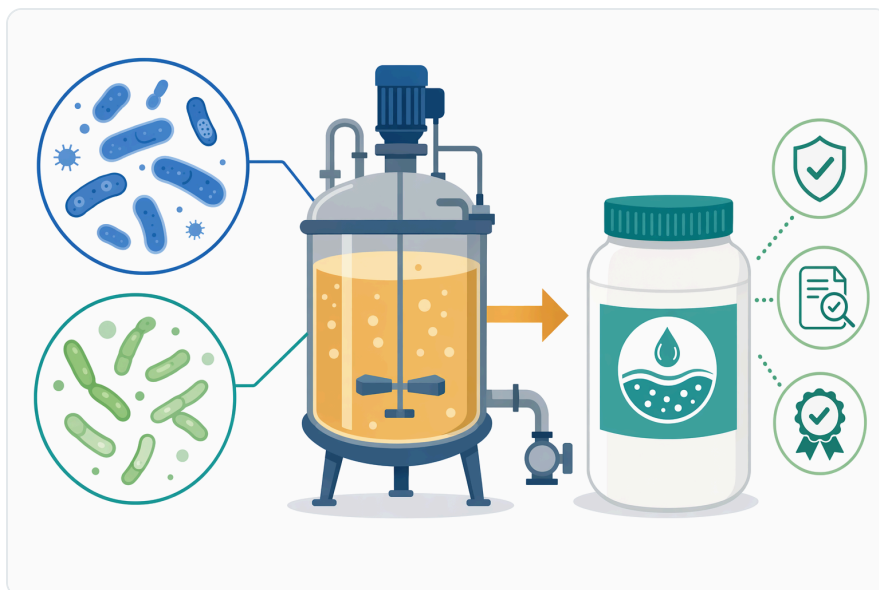
また、ALDCの利用は、酵母管理を省略する理由にはなりません。発酵末期の酵母が弱っている、栄養条件が偏っている、温度変化が過剰である、酸素管理が不適切である、といった問題があれば、ジアセチル以外の品質問題が残ります。ALDCは発酵の健全性を補完する技術であり、不適切な工程条件を覆い隠す添加物ではありません。

さらに、熟成短縮の効果は工程条件に依存します。ジアセチル前駆体の生成量が少ない発酵では、ALDCの見かけの効果は小さく見える場合があります。一方、低温発酵やタンク回転が制約となる工程では、前駆体制御の価値が大きくなる場合があります。したがって、ALDCは「必ず一定期間を短縮する製品」ではなく、「ジアセチル前駆体を酵素的に処理し、熟成負荷を下げるための食品加工用酵素」と表現するのが正確です。

## Enzymes.bio製品としての位置づけ

---

Enzymes.bioが供給するFood Grade A-Acetolactate Decarboxylaseは、ビール醸造でジアセチル管理を重視する事業者向けの食品加工用酵素です。製品ページでは、醸造用途で $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換し、ジアセチル形成を抑える目的の酵素として説明されています。



**Figure 6.** ALDC는 미생물, 생산, 구조 및 안전성 평가 관련 문헌으로 뒷받침 되는 확립된 식품 효소 범주입니다.

購入形態は1kg単位のオンライン直接販売です。Enzymes.bioは製造業者や研究所ではないため、製造者のような工程保証や研究開発主体としての説明ではなく、B2Bサプライヤーとして製品を供給します。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供され、食品加工・醸造用途での社内文書管理に利用できます。

本製品は、一般消費者による直接摂取や家庭用小売を目的としたものではなく、食品加工・産業用途のプロセス酵素として扱うべき製品です。ビール醸造での実務的な価値は、最終製品に新しい風味を付与することではなく、望ましくないジアセチルの前駆体を工程中で制御することにあります。

## まとめ：ALDCはビール熟成を支援する前駆体制御酵素

Food Grade A -Acetolactate Decarboxylase (ALDC) は、ビール醸造において $\alpha$ -アセト乳酸をアセトインへ変換し、ジアセチル形成を抑える方向に働く食品加工用酵素です。ジアセチルはバター様オフフレーバーとして品質に影響し、通常は熟成工程で酵母により低減されますが、ALDCはその前段階で前駆体を処理する点に特徴があります<sup>[1]</sup>。

ALDCの価値は、発酵そのものを置き換えることではなく、ジアセチル前駆体を明確に制御することです。これにより、熟成工程の負荷を下げ、タンク占有期間の予測性を高め、ビールの香味安定性を支援できます。Enzymes.bioでは、本酵素を1kg単位のオンライン販売製品として供給しており、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

## Food Grade A -Acetolactate Decarboxylase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 A -Acetolactate Decarboxylase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. Godtfredsen, S., & Ottesen, M. (1982). Maturation of beer with  $\alpha$ -acetolactate decarboxylase. *Carlsberg Research Communications*, 47, 93-102.
2. Bae, S., Kim, S., & Hahn, J. (2016). Efficient production of acetoin in *Saccharomyces cerevisiae* by disruption of 2,3-butanediol dehydrogenase and expression of NADH oxidase. *Scientific Reports*, 6.
3. Guo-yan, Z. (2004). Synthesis of  $\alpha$ -acetolactic Acid, and Identification and Selection of  $\alpha$ -acetolactate Decarboxylase Producing Bacterium. *Journal of Sichuan Normal University*.
4. Bae, S., Kim, S., Park, H., Kim, J., Hyun-Jin, Kim, B., & Hahn, J. (2021). High-yield production of (R)-acetoin in *Saccharomyces cerevisiae* by deleting genes for NAD(P)H-dependent ketone reductases producing meso-2,3-butanediol and 2,3-dimethylglycerate. *Metabolic Engineering*.
5. Bao, W., Shen, W., Peng, Q., Du, J., & Yang, S. (2023). Metabolic Engineering of *Zymomonas mobilis* for Acetoin Production by Carbon Redistribution and Cofactor Balance. *Fermentation*.


## 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。