

Urease（ウレアーゼ） — 尿素分解、尿素測定、迅速ウレアーゼ試験、EICP/MICP向け酵素原料

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

Urease（ウレアーゼ）は、尿素をアンモニアと二酸化炭素へ加水分解するニッケル依存性酵素で、尿素分解、尿素分析、rapid urease test、土壌・材料分野の炭酸カルシウム沈殿反応に使われます。尿素が存在する系でpH上昇、アンモニア生成、炭酸種形成を起こせることが実務上の価値であり、微生物同定、H. pylori関連検査、バイオセンサー、EICP/MICP研究の共通基盤になっています。Enzymes.bioは製造業者・研究所ではなく、Ureaseを1 kg単位でオンライン直接販売する酵素供給業者であり、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

Ureaseとは何か：尿素をアンモニアと二酸化炭素へ変える金属酵素

Urease (EC 3.5.1.5) は、尿素のカルボニル炭素を標的として加水分解を進める酵素です。反応は簡略化して、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$ と表されます。水中では生成したアンモニアがアンモニウムと平衡を取り、同時に二酸化炭素は炭酸水素イオンや炭酸イオンへ移行するため、反応液ではpH上昇と炭酸塩形成能が現れます。植物、細菌、真菌などに広く存在し、植物生理では窒素代謝、微生物では酸性環境への適応や病原因子、土壌では尿素肥料の変換に関与します^[1]。

Ureaseの活性中心はニッケルを含む金属中心として理解されており、尿素のカルボニル酸素を配位・分極させ、水由来の求核種が炭素へ攻撃しやすい配置を作ります。尿素はアミド共鳴により通常の水中では分解されにくく、hydrolysis of urea without urease は進行しても実用上は非常に遅い反応です。Ureaseは基質の向き、金属イオン、活性部位内の酸塩基性残基を組み合わせることで、尿素のC-N結合切断を工程利用できる速度域へ引き上げます^[2]。

この反応の見えやすさが、Ureaseを教育・研究・B2B応用で扱いやすい酵素にしています。尿素が減る、アンモニアが増える、pHが変わる、カルシウム存在下で炭酸カルシウムが析出する、という複数の読み出しが同じ反応から得られるためです。酵素反応速度の評価では、生成熱、pH変化、導電率、アンモニア生成など多様な物理化学シグナルが使われてきましたが、Ureaseはそれらの概念を説明しやすい代表例の一つです^[3]。

主要用途の全体像：尿素分解から迅速ウレアーゼ試験、炭酸カルシウム沈殿まで

Ureaseの用途は「尿素をどう扱いたいのか」で整理できます。尿素を低減したい場合は分解酵素として、尿素を測りたい場合は反応変換酵素として、尿素分解に伴うアルカリ化を使いたい場合は材料形成・鉱物化の駆動因子として働きます。さらに、urease producing bacteria の検出や、病原体 Ureaseの阻害剤探索では、Urease活性そのものが診断・研究上の目印になります^[4]。

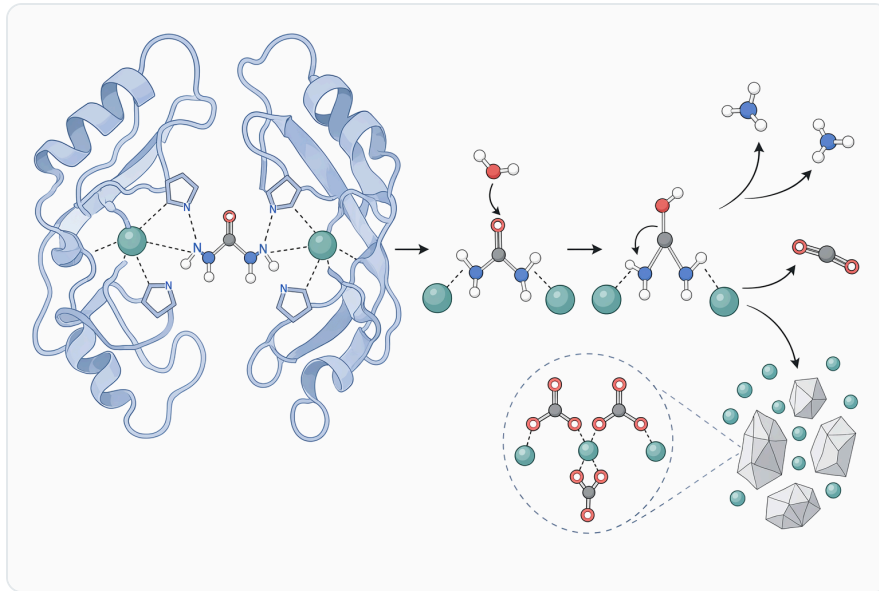


Figure 1. 요소분해효소는 요소를 암모니아와 이산화탄소로 가수분해하여 탄산염 침전을 유도할 수 있는 알칼리성 조건을 만듭니다.

用途領域	Ureaseが果たす役割	主要な読み出し・効果	実務上の注意点
尿素分解・尿素低減	尿素をアンモニアと二酸化炭素へ変換	尿素減少、pH上昇、アンモニア生成	アンモニア臭、pH制御、下流工程への影響
尿素分析・バイオセンサー	尿素を検出可能な信号へ変換	pH、導電率、電極応答、アンモニア関連信号	固定化条件やマトリクス影響で応答が変わる
rapid urease test / urease test	urease bacteria の存在を pH変化で示す	指示薬の変色、反応時間	菌量、阻害物質、前処理、培地条件に左右される
EICP / MICP	炭酸種とアルカリ性を作りCaCO ₃ 沈殿を促す	土粒子固結、透水性変化、表面被覆	尿素、カルシウム、pH、浸透、アンモニア管理が重要
阻害剤研究	活性低下から候補化合物の相互作用を評価	反応速度低下、阻害様式、結合挙動	医療効果を意味せず、研究用途として解釈する

作用機序：Ureaseが尿素加水分解を速める理由

尿素は小さな分子ですが、C-N結合は単純なアミンのように切れません。カルボニル基とアミノ基の間で電子が非局在化し、炭素への求核攻撃が起こりにくいためです。Ureaseの活性中心では、ニッケル中心が尿素のカルボニル酸素を引き寄せ、尿素を反応に適した方向へ固定します。同時に、水分子または水酸化物様の求核種が活性化され、カルボニル炭素へ攻撃して四面体中間体を形成し、最終的にアンモニアと炭酸系生成物へ分解が進むと説明されます^[1]。

生成したアンモニアは反応系の酸塩基平衡を強く動かします。水中ではアンモニアがプロトンを受け取りアンモニウムを生じ、周囲のpHを上昇させます。このpH上昇は、尿素検出の色変化、迅速ウレアーゼ試験の陽性反応、EICPでの炭酸カルシウム沈殿に直結します。一方で、密閉設備、臭気、腐食、排気、後段処理に影響するため、Ureaseを工程に入れる場合は「尿素を消す」だけでなく「アンモニアを作る」反応として扱う必要があります^[5]。

カルシウムイオンが存在する場合、尿素分解で生じた炭酸種とpH上昇により炭酸カルシウムの過飽和が生じやすくなります。これが酵素誘導炭酸カルシウム沈殿（EICP）や、微生物のUrease活性を利用する微生物誘導炭酸カルシウム沈殿（MICP）の基本です。沈殿したCaCO₃は粒子間を架橋し、空隙を一部充填し、表面を被覆するため、地盤改良、粉じん抑制、自己修復材料、廃棄物資源化の研究で利用されています^[6]。

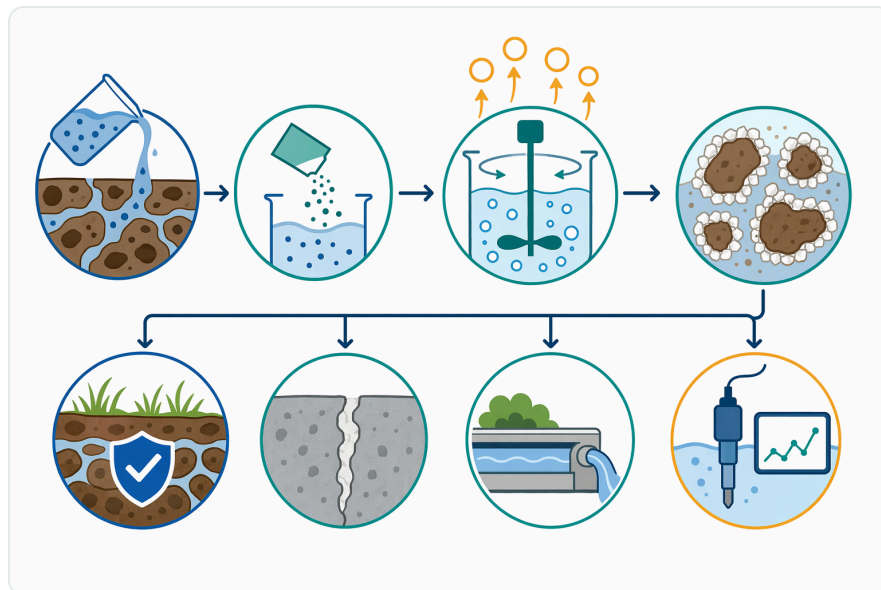


Figure 2. 산업용 요소분해효소 공정은 탄산염 광물화, 요소 제거 또는 암모니아 생성을 위해 제어된 요소 가수분해를 활용합니다.

微生物学でのUrease：urease producing bacteria と urease test の意味

微生物学における urease test は、細菌が尿素を分解してアルカリ化を起こすかを観察する古典的な性状試験です。Proteus属など強いUrease活性を示す菌では反応が早く、H. pyloriのように胃内の酸性環境でUreaseを生存戦略に組み込む菌も知られています。Ureaseは単なる代謝酵素ではなく、アンモニアによる局所pH調整、宿主組織への影響、結石形成などに関わる一般的な微生物病原因子として扱われています^[4]。

rapid urease test は、胃生検試料などでH. pyloriのUrease活性を利用する検査概念として広く知られています。尿素とpH指示薬を含む系に試料を置き、H. pylori由来Ureaseが尿素を分解してpHを上げると色調が変化します。これは「菌体が持つUrease活性」を検出する方法であり、酵素原料そのものを治療や診断キットとして使うこととは区別されます。菌量が少ない、抗菌薬や酸分泌抑制薬の影響を受ける、採取部位に偏りがある、といった条件では偽陰性が生じ得るため、rapid urease test の結果は臨床文脈の中で扱われます^[7]。

一般的な urease bacteria の鑑別でも、Urease陽性・陰性は有用ですが、それだけで菌種を確定するものではありません。関連検索で見られる citrobacter freundii urease test、urease test for salmonella、salmonella urease test のような実務的関心では、培地、培養時間、菌株差、同時に行う生化学性状の組み合わせが解釈を左右します。Salmonellaは多くの鑑別体系でUrease陰性として扱われる一方、腸内細菌科の近縁菌やCitrobacter属との区別では複数試験の組み合わせが必要です。したがって limitation of urease test は、Urease活性が「強い判別シグナル」ではあっても「単独同定システム」ではない点にあります^[8]。

土壌・農業分野：尿素肥料、土壌酵素活性、窒素損失

土壌中のUreaseは、尿素肥料をアンモニア・アンモニウムへ変換する窒素循環の重要な酵素です。植物や微生物が持つUrease活性、土壌有機物、pH、水分、温度、粘土鉱物、金属イオンが反応の進み方に影響します。植物生理の観点では、Ureaseは尿素由来窒素の再利用に関わり、ニッケル欠乏時には尿素代謝が滞ることが知られています^[1]。



Figure 3. 요소분해효소는 생물광물화, 환경 처리, 진단 및 질소 관리 분야에 사용됩니다.

農業現場では、Urease活性が高ければ常に望ましいわけではありません。尿素肥料が表層で急速に加水分解されると、アンモニア揮散や窒素損失が増え、肥効低下や環境負荷につながる場合があります。そのため農業研究では、土壌Urease活性を測るだけでなく、Urease阻害剤、有機物施用、バイオ炭、被覆作物、窒素添加、灌漑条件が土壌酵素活性と微生物群集へ与える影響が調べられています^[9]。

茶園土壌へのバイオ炭施用、乾燥地農業での土壌改良材、窒素添加、微生物有機肥料と灌漑条件の組み合わせなど、土壌研究ではUreaseが窒素変換の指標として頻繁に扱われます。これらの研究は、Ureaseが単独で収量や土壌健全性を決めるという意味ではなく、炭素・窒素プール、微生物量、他の加水分解酵素や酸化還元酵素と連動して土壌機能を反映することを示しています^[10]。

EICP/MICPとバイオセメント：UreaseがCaCO₃沈殿を生む工程原理

EICP (enzyme-induced carbonate precipitation) は、酵素としてのUreaseを用いて尿素を分解し、カルシウム存在下で炭酸カルシウムを沈殿させる考え方です。MICP (microbially induced carbonate precipitation) は、Sporosarcina属などのurease producing bacteria を利用し、微生物が持つUrease活性で同じ鉱物化を起こします。両者の違いは、反応主体が酵素原料か生きた微生物かであり、生成物であるCaCO₃が土粒子間結合や空隙制御に寄与する点は共通しています^[6]。

EICPでは、生きた菌を維持する必要がないため、栄養源、増殖、バイオフィーム、環境放出の扱いがMICPと異なります。一方、遊離酵素は拡散しやすく、温度、pH、阻害物質、せん断、保持時間の影響を受けるため、担体固定化や反応場設計が重要になります。MICPでは菌体表面が核形成点に

なり得ますが、菌の生育条件と副生成物管理が課題です。Urease反応の中心は同じでも、工程設計上の制約は大きく異なります^[11]。

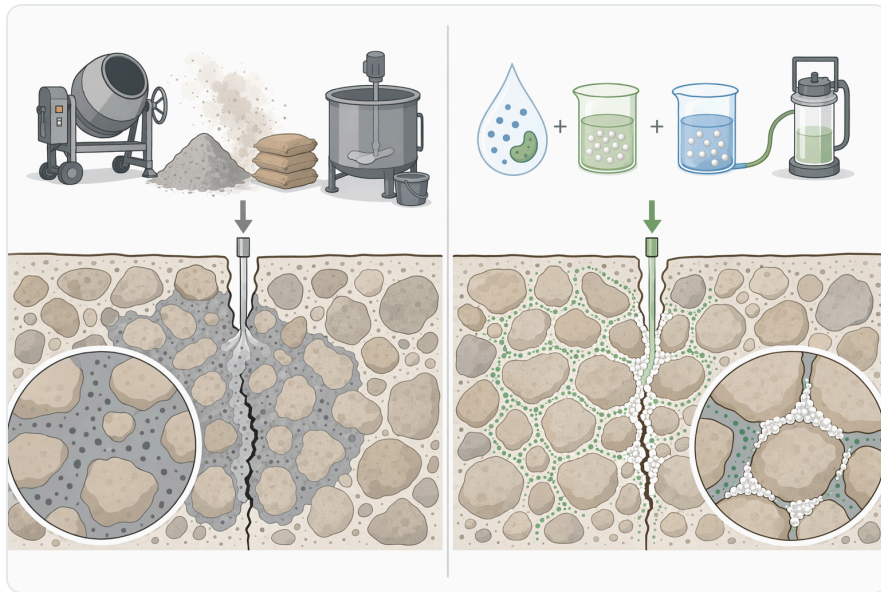


Figure 4. 탄산염 그라우팅에서 요소분해효소 기반 광물화는 기존 시멘트계 처리에 의존하지 않고 온화한 조건에서 현장에서 방해석을 형성할 수 있습니다.

比較項目	EICP : 酵素誘導	MICP : 微生物誘導
反応主体	Urease酵素原料	Urease産生菌
生育管理	不要	必要
反応制御	酵素量、基質、カルシウム、pH、保持で制御	菌量、生育、栄養、環境条件も加わる
主な利点	生菌を使わずに鉱物化を起こせる	菌体が反応場・核形成点として働く場合がある
主な制約	酵素安定性、保持、コスト、アンモニア管理	生物安全、増殖条件、均一性、環境適合性
用途例	土壌固化、粉じん抑制、表面被覆、廃棄物資源化研究	地盤改良、亀裂充填、透水制御、バイオセメント研究

皮革廃棄物の資源化や農産副産物由来Ureaseを使ったバイオセメント研究では、酵素源、カルシウム源、固体マトリクスが沈殿効率と材料特性に影響します。これらは持続可能な建設材料技術として注目されますが、土壌粒径、浸透性、反応液分布、アンモニア排出、長期耐久性によって結果が変わります。したがって、EICP/MICPは有望な反応原理である一方、対象材料ごとの工程最適化が必要な研究・開発領域です^[12]。

近年はUreaseベースの生物学的粉じん抑制も検討されています。尿素分解で生じる炭酸カルシウムが表面粒子を結着し、風による飛散を抑える考え方です。従来の化学固化材と比べて低環境負荷の可能性がありますが、屋外では雨水、乾湿サイクル、塩類、温度変化、アンモニア放散が性能に影響します。粉じん抑制でUreaseを使う場合も、反応生成物は「無臭の接着剤」ではなく「アンモニアを伴う炭酸塩沈殿系」として扱う必要があります^[13]。

固定化Urease：再利用、センサー化、反応場制御

Ureaseは水溶性酵素として使えますが、反応後の回収、連続処理、センサー化を考えると固定化が有効になる場合があります。キトサン／ポリビニルアルコールの電界紡糸ナノファイバーへの固定化研究では、酵素を担体に保持することで、取り扱い性、局所濃度、再利用性、安定性を改善する方向が検討されています。固定化は単に酵素を「固める」操作ではなく、基質拡散、生成物拡散、酵素の立体構造保持、担体表面の電荷や親水性を同時に設計する技術です^[14]。

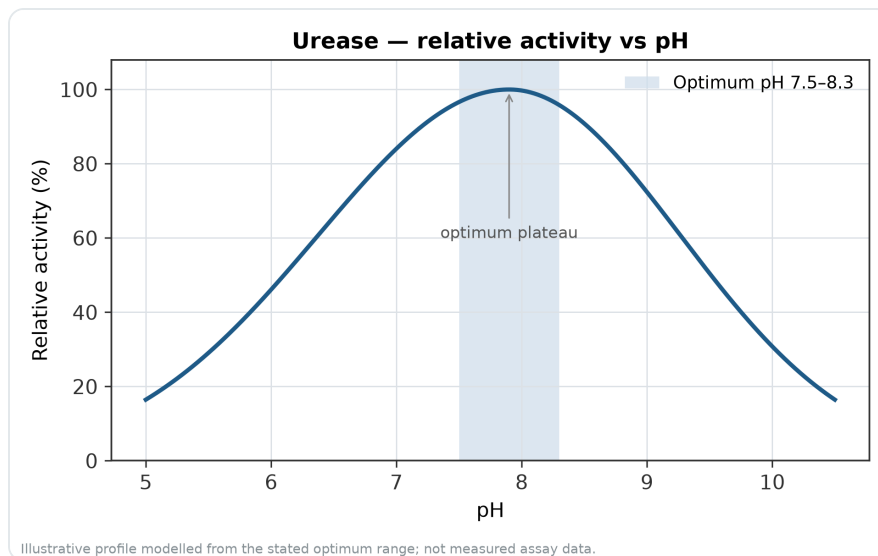


Figure 5. pH에 따른 요소분해효소의 상대 활성으로, pH 7.5-8.3에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

バイオセンサーでは、Ureaseが尿素をアンモニアへ変換し、その結果生じるpH、電位、導電率、アンモニウム応答を電気化学・光学シグナルへ変換します。酵素が流出すると応答が不安定になるため、膜、ゲル、ナノファイバー、粒子、電極表面への固定化が使われます。センサー応答は

Urease反応そのものだけでなく、尿素の拡散、緩衝能、イオン強度、膜厚、温度、干渉物質によって変化します。したがって、固定化Ureaseは「活性を保持する材料」と「測定環境を制御する材料」の両方として機能します^[14]。

固定化の利点は、EICPにもつながります。遊離Ureaseは水流で移動しやすい一方、固定化酵素や担体保持酵素では、炭酸カルシウムを析出させたい位置に反応を寄せられる可能性があります。ただし、担体がカルシウムや炭酸種の拡散を妨げると、見かけの反応速度や沈殿形態が変わります。固定化Ureaseの設計では、酵素安定化だけでなく「どこでアンモニアと炭酸種を発生させるか」という空間制御が重要です^[6]。

Urease阻害研究：病原性、農業、天然物探索との接点

Urease阻害研究は、Ureaseを「使う」研究と「止める」研究の両方で重要です。H. pyloriでは、Ureaseが胃酸環境での生存や病原性に関わるため、Urease阻害剤は抗H. pylori戦略の一部として検討されています。尿路では、Urease産生菌が尿素を分解して尿をアルカリ化し、リン酸アンモニウムマグネシウムなどの感染性結石形成に関与するため、Ureaseは病態機序上の標的になります^[5]。

天然物や既存薬のUrease阻害能も多数研究されています。たとえばサンギナリンはH. pylori由来およびジャックビーン由来Ureaseに対する阻害機構が検討され、フルオロキノロン系分子やエノキサシンについても尿素分解性細菌感染に関連したUrease阻害候補として報告されています。これらは酵素反応を標的にした探索研究であり、Urease酵素原料を医療用途へ直接用いることを意味しません^{[15][16]}。

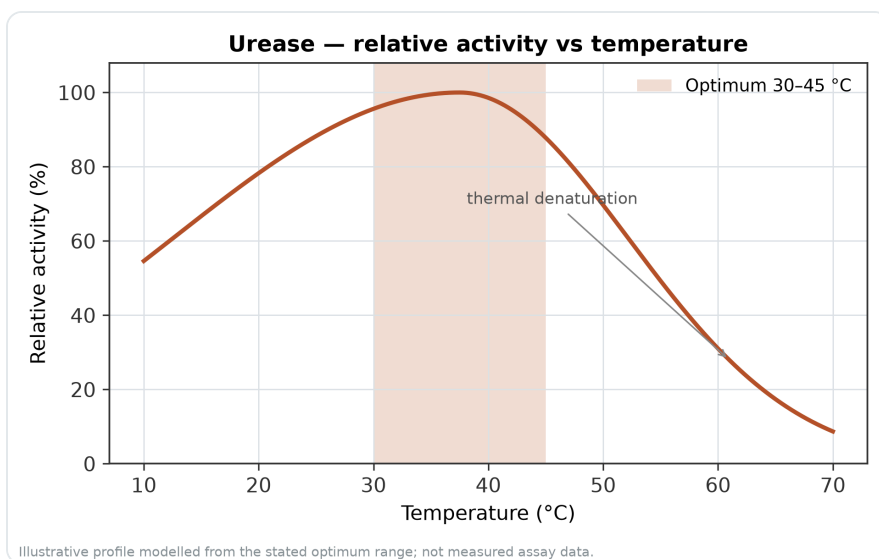


Figure 6. 온도에 따른 요소분해효소의 상대 활성으로, 30–45° C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도를 넘으면 열 변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

農業では逆に、土壌Ureaseを抑えることで尿素肥料の急速分解を遅らせ、アンモニア揮散や窒素損失を減らす考え方があります。つまり、同じUreaseでも、EICPでは反応を促進したい、尿素肥料管理では反応を抑制したい、微生物診断では反応を検出したい、阻害剤探索では反応低下を評価したい、というように目的が分かります。UreaseのB2B用途を考える際は、「Urease活性が高いほどよい」と単純化せず、反応の発生場所、タイミング、生成物処理まで含めて設計することが重要です[17]。

使用条件を考える際の技術的ポイント

Urease反応は、酵素由来、基質濃度、pH、温度、緩衝能、金属イオン、阻害物質、担体、溶存ガス、生成物の蓄積によって変化します。一般に、Ureaseは中性から弱アルカリ性の範囲で扱われることが多いものの、最適条件は酵素源と反応系で異なります。植物由来Urease、微生物由来Urease、固定化Ureaseでは、見かけの反応性や安定性が同じではありません。特に固定化では、酵素そのものの性質に加えて拡散律速が加わります[1]。

反応液の緩衝能も重要です。Ureaseがアンモニアを作っても、強く緩衝された系ではpH変化が見えにくくなります。逆に緩衝能が低い系では、わずかな尿素分解でもpHが大きく変わり、酵素自体や下流反応に影響します。迅速ウレアーゼ試験のようにpH変化を読み出す用途では、緩衝能が高すぎると感度が下がり、EICPのようにアルカリ化を使う用途では、pH上昇が炭酸カルシウム過飽和の形成に関与します[8]。

阻害物質にも注意が必要です。Ureaseはニッケル中心と活性部位周辺構造に依存するため、金属結合性化合物、チオール反応性物質、強い変性条件、特定の天然物や薬剤候補が活性を低下させることがあります。Urease阻害剤研究で扱われる化合物は、活性中心への結合、タンパク質構造変化、基質結合の妨害など複数の機構で作用し得ます。工程内でUreaseが想定より働かない場合、pHや温度だけでなく、基質以外の共存成分が反応を抑えている可能性があります[15]。

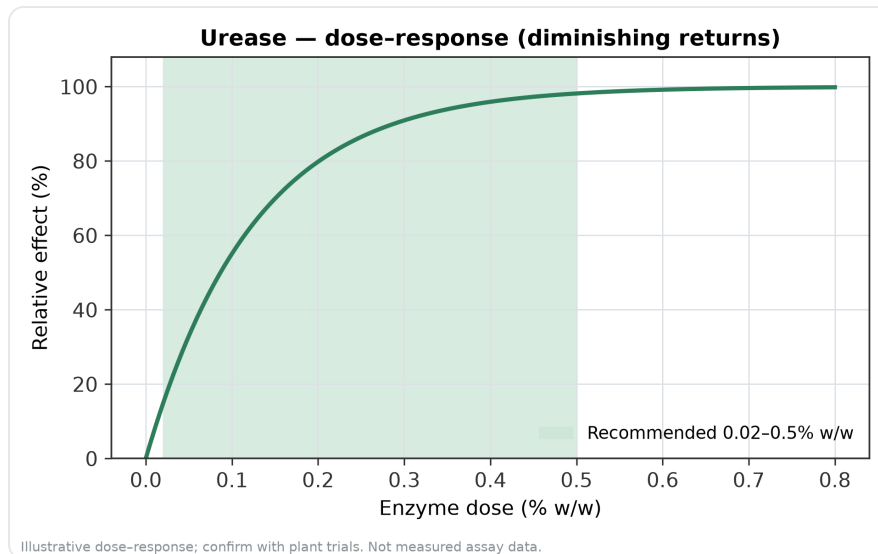


Figure 7. 권장 사용 범위(0.02-0.5% w/w)에서 요소분해효소의 용량-반응 관계를 예시한 그래프입니다.

安全面では、Urease自体の取り扱いに加え、生成するアンモニアを工程リスクとして扱います。尿素を大量に含む系では、反応が進むほどアンモニア生成とpH上昇が大きくなり、換気、密閉容器の内圧、臭気、作業環境、排液の中和が問題になります。EICP/MICPでは、炭酸カルシウム沈殿だけに注目しがちですが、副生成物としてのアンモニア管理は環境適用性を左右する要因です^[6]。

Urease test の限界：陽性・陰性を過大解釈しない

limitation of urease test の第一は、Urease活性が「存在するか」を示しても、菌種、病原性、感染状態、環境中での挙動を単独で確定しないことです。強いUrease産生菌では短時間で反応しますが、弱い菌、菌量の少ない試料、阻害物質を含む試料では反応が遅れたり見えにくくなったりします。微生物同定では、Urease test は糖分解、インドール、硫化水素、運動性、リジン脱炭酸、血清型、分子検査などと組み合わせて解釈されます^[8]。

第二の限界は、pH変化を読み出す試験では、Urease以外の要因でもpHが動き得ることです。試料由来のアルカリ性成分、強い緩衝成分、アンモニアの揮散、培地条件、培養時間の違いが色調判定に影響します。rapid urease test でも、陰性結果が必ずH. pylori不在を意味するわけではなく、菌量や採取部位、服薬状況などによって感度が変わります。したがって、Ureaseを利用した検出は「反応原理が明確」な一方、「試料条件の影響を受ける」技術として理解する必要があります^[7]。

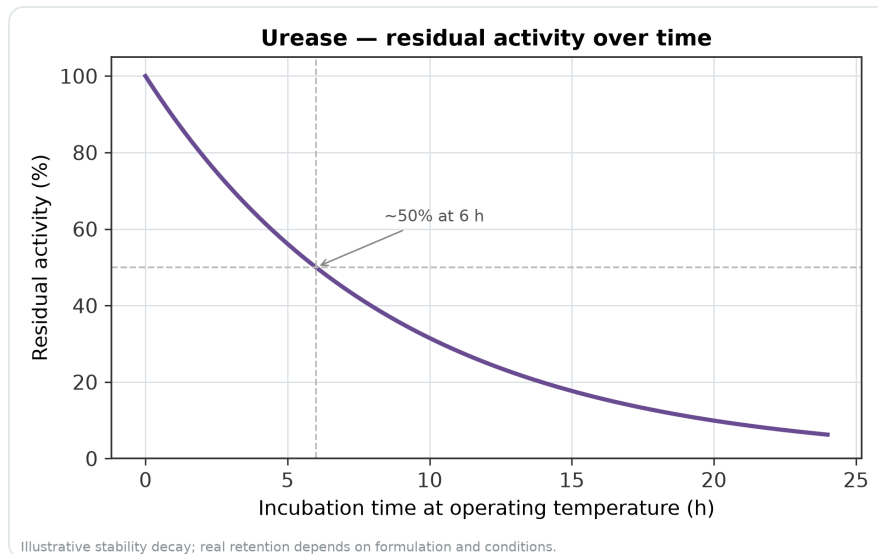


Figure 8. 요소분해효소의 열 안정성 감소 예시 — 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔류 활성이 감소합니다.

第三の限界は、hydrolysis of urea without urease と酵素反応の区別です。尿素は非酵素的にも条件によって分解し得ますが、通常の穏やかな水系では遅く、Ureaseが存在すると実用上の時間内でpH上昇やアンモニア生成が観察されます。高温、強酸・強塩基、長時間保管などの条件では非酵素的変化や別反応が混ざる可能性があるため、Urease test や尿素分析では、反応時間と背景変化を区別して扱う必要があります^[3]。

Enzymes.bioにおけるUreaseの位置づけ

Enzymes.bioは、Ureaseを1 kg単位でオンライン直接販売する酵素供給業者です。製品は研究開発、工程検討、教育、尿素分解、尿素分析、固定化酵素検討、EICP/MICP関連研究などのB2B用途を想定した酵素原料として扱われます。Enzymes.bioは製造業者・研究所ではないため、本資料は製造条件や独自試験法を提示するものではなく、公開文献に基づいてUreaseの反応機序と用途理解を整理する技術文書です。

注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。Ureaseは尿素をアンモニアと二酸化炭素へ変える明確な反応を持つため、使い方によっては測定酵素、工程酵素、材料形成酵素、阻害剤評価用酵素として機能します。一方、アンモニア生成、pH上昇、阻害物質、固定化時の拡散、EICP/MICPでの副生成物管理など、反応の結果まで含めた設計が必要です。用途に応じて、尿素分解を促進するのか、検出するのか、抑制剤を評価するのかを明確に分けることが、UreaseをB2B用途で有効に扱うための基本になります。

Urease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。

[Urease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. Jesús Rodríguez-Jiménez, T., Ojeda-Barrios, D., Blanco-Macias, F., Valdez-Cepeda, R., & Parra-Quezada, R. (2016). [Urease and nickel in plant physiology.](#)
2. Caspi, R., Altman, T., Dreher, K., Fulcher, C., Subhraveti, P., Keseler, I., Kothari, A., ... et al. (2009). [The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases.](#) *Nucleic Acids Res.*, 38, D473 - D479.
3. Todd, M., & Gómez, J. (2001). [Enzyme kinetics determined using calorimetry: a general assay for enzyme activity?.](#) *Analytical Biochemistry*, 296 2, 179-87 .
4. Rutherford, J. C. (2014). [The Emerging Role of Urease as a General Microbial Virulence Factor.](#) *PLoS Pathogens*, 10.
5. Prywer, J., & Olszynski, M. (2017). [Bacterially Induced Formation of Infectious Urinary Stones: Recent Developments and Future Challenges.](#) *Current Medicinal Chemistry*, 24 3, 292-311 .
6. Ojha, A., Bandyopadhyay, T. K., & Das, D. (2025). [Unveiling the role of microbial urease in ureolysis-induced calcium carbonate precipitation, Its mechanistic insights, and emerging applications.](#) *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 41.
7. [Pmc3816311.](#) *PubMed Central.*
8. [Urease Test Protocol 3223.Pdf.](#) *Asm.*
9. Feng, H., Sekaran, U., Wang, T., & Kumar, S. (2021). [On-farm assessment of cover cropping effects on soil C and N pools, enzyme activities, and microbial community structure.](#) *Journal of Agricultural Sciences*, 159, 216 - 226.
10. 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.
11. Imran, A. (2021). [IMPROVEMENT OF USING CRUDE EXTRACT UREASE FROM WATERMELON SEEDS FOR BIOCEMENTATION TECHNOLOGY.](#) *International Journal of Geomate*, 20.

12. Sujiritha, P. B., Vikash, V. L., Antony, G., Ponesakki, G., Ayyadurai, N., Nakashima, K., & Kamini, N. R. (2022). Valorization of tannery solid wastes for sustainable enzyme induced carbonate precipitation process. *Chemosphere*, 308 Pt 3, 136533 .
13. Li, S., Hu, X., Zhao, Y., Wu, M., Feng, Y., Li, X., & Guo, Y. (2024). Evaluation of dust fixation effect of urease-based biological dust suppressant and its field application. *Journal of Environmental Management*, 371, 123119 .
14. Amani, A., Taghavi, S., Yazdian, F., Mirzababaei, S., Rashedi, H., Faramarzi, M., & Vahidi, M. (2022). Immobilization of urease enzyme on chitosan/polyvinyl alcohol electrospun nanofibers. *Biotechnology progress (Print)*, 38.
15. Lu, Q., Zhang, Z., Xu, Y., Chen, Y., & Li, C. (2022). Sanguinarine, a major alkaloid from *Zanthoxylum nitidum* (Roxb.) DC., inhibits urease of *Helicobacter pylori* and jack bean: Susceptibility and mechanism. *Journal of Ethnopharmacology*, 115388 .
16. Alkhalil, S. (2024). Fluoroquinolone and enoxacin molecules are potential urease inhibitors for treating ureolytic bacterial infections. *Materials Express*.
17. Yang, X., Yang, L., Li, Q., Li, X., Xu, G., Xu, Z., & Jia, Y. (2023). Short-term responses of soil nutrients and enzyme activities to nitrogen addition in a *Larix principis-rupprechtii* plantation in North China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11.


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。