

# Transglutaminase（トランスグルタミナーゼ）：食品タンパク質の結着・食感設計に使われる微生物由来架橋酵素

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

Transglutaminase（トランスグルタミナーゼ）は、食品中のタンパク質同士を共有結合でつなぎ、加工肉、魚介、乳製品、植物タンパク質食品の結着性・弾力・保水性・スライシ性を調整する酵素です。食品加工で主に利用されるのは microbial transglutaminase（微生物由来トランスグルタミナーゼ、mTG）で、タンパク質中のグルタミン残基とリジン残基を架橋する反応が実用価値の中心にあります<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioは製造業者や研究所ではなく、食品加工・産業用途向けの Transglutaminaseをオンラインで供給するB2Bサプライヤーで、製品は1 kg単位で購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

## Transglutaminase 意味：食品中のタンパク質を「分子レベルで結着」させる酵素

Transglutaminaseの意味を食品技術の文脈で簡潔に言えば、「タンパク質同士を酵素反応で架橋し、食品の構造を安定化させる酵素」です。学術的には、タンパク質またはペプチド中のグルタミン残基をアシル供与体として利用し、リジン残基などのアミノ基との間に共有結合性の架橋を形成する酵素群を指します。食品加工でこの反応が起こると、肉片、魚肉、乳タンパク質、植物タンパク質などがより連続したネットワークを作り、崩れにくさ、弾力、保水性、切断面の安定性が変化します<sup>[2]</sup>。

「transglutaminase 意味」や「transglutaminase意味」で検索される場合、食品用酵素、ヒト組織由来酵素、セリアック病関連検査語が混在して表示されることがあります。食品分野で扱う microbial transglutaminaseは、食品タンパク質の物性改良に使われる微生物由来酵素です。一方、検索語として見かける tissue transglutaminase、transglutaminase 2、tissue transglutaminase IgA、anti tissue transglutaminase、transglutaminase iga positivoは、主にヒトの組織トランスグルタミナーゼや抗体検査に関係する医療・診断領域の語であり、食品加工用mTGの用途説明とは分けて理解する必要があります<sup>[1]</sup>。

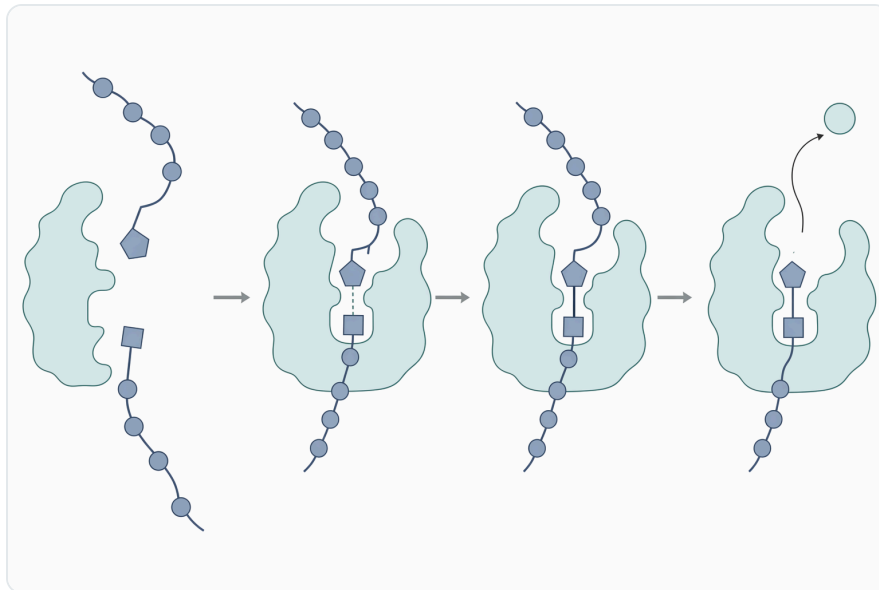
酵素分類としてのtransglutaminase EC numberは、一般にEC 2.3.2.13として扱われます。この分類は、タンパク質内外のアミノ酸残基間でアシル基転移反応を触媒する機能を反映しています。ただし、食品加工の実務で重要なのは分類番号そのものより、対象食品のタンパク質が酵素と接触できる状態にあり、目的とする構造形成に十分な反応環境があるかどうかです。レビューでも、mTGの価値はタンパク質架橋反応を通じて食品の品質やテクスチャーを設計できる点にあると整理されています<sup>[2]</sup>。

## Microbial transglutaminaseが食品加工で重視される理由

食品産業で広く使われてきたのは、動物組織由来酵素ではなく、微生物由来のtransglutaminaseです。microbial transglutaminaseは、タンパク質を架橋する酵素として肉、魚、乳、植物タンパク質など多様な食品マトリックスに応用されてきました。食品用途に関するレビューでは、mTGが製品開発、テクスチャー改善、タンパク質資源の有効利用に関わる技術として位置づけられています<sup>[1]</sup>。

この酵素が重視される理由は、反応が「外から接着剤を加える」ものではなく、食品中にもともと存在するタンパク質間に新しい結合点を作る点にあります。肉片同士の結着、すり身ゲルの補強、ヨーグルトの離水抑制、植物肉の保形性改善などは、いずれもタンパク質ネットワークの組み立て方に関係します。mTGはこのネットワーク形成を酵素的に促進するため、加熱、冷却、切断、包装、流通の各段階で形状や食感を保ちやすい製品設計に役立ちます<sup>[2]</sup>。

一方で、mTGは「どの食品でも同じ結果を出す万能剤」ではありません。反応の見え方は、原料タンパク質の種類、変性状態、粒度、水和、塩分、脂肪量、pH、温度、保持時間、混合の強さ、加熱工程に左右されます。たとえば、同じ植物タンパク質でも大豆、えんどう豆、米、菜種、微細藻類由来タンパク質では、利用可能なグルタミン残基・リジン残基、溶解性、凝集挙動が異なります。したがって、mTGの実用価値は「添加すれば必ず硬くなる」ではなく、「タンパク質構造を工程内で制御する選択肢」として理解するのが適切です<sup>[1]</sup>。



**Figure 1.** 트랜스글루타미나아제는 단백질에 결합된 글루타민 잔기와 라이신 잔기와 같은 아민 공여체 사이의 공유 교차결합을 촉매한다.

## 作用機序：グルタミン残基とリジン残基をつなぐ架橋反応

Transglutaminaseの中心的な反応は、タンパク質中のグルタミン残基とリジン残基の間にイソペプチド結合を形成することです。この結合は、通常のペプチド主鎖とは異なる側鎖間の共有結合であり、タンパク質分子を点と点でつなぐ「分子レベルの留め具」として働きます。食品中では、この留め具が多数形成されることで、単独のタンパク質分子や小さな凝集体が、より大きな三次元ネットワークへ移行します<sup>[2]</sup>。

肉製品では、筋原線維タンパク質や結合組織由来タンパク質が塩・水分・機械的混合の影響を受けながら分散し、mTGと接触します。架橋が進むと、細かい肉片やトリミング材が一体化し、加熱後やスライス時に崩れにくい構造を取りやすくなります。これは「meat glue aka transglutaminase」と俗称される理由ですが、技術的には接着剤を塗布するのではなく、タンパク質同士を酵素反応で結びつけるプロセスです<sup>[1]</sup>。

魚介やすり身では、塩溶性タンパク質のゲル形成とmTGによる架橋が組み合わさり、弾力、切断面、冷凍・解凍後の保形性に影響します。乳製品では、カゼインやホエイタンパク質の状態に応じてゲルの密度や水分保持が変わり、ヨーグルト、チーズ、タンパク質飲料の口当たりや離水挙動に関与します。植物タンパク質では、加熱変性、押出、せん断、ゲル化剤、油脂、水分との相互作用の中で、架橋反応が肉様食感や弾力の形成を補助します<sup>[2]</sup>。

反応設計で注意すべき点は、架橋が多ければ常に良いわけではないことです。過度な架橋は、硬さ、ゴム様食感、口どけの悪化、粉っぽさ、咀嚼時の違和感につながる場合があります。逆に、タンパク質が十分に水和していない、酵素が均一に分散していない、反応時間が不足している、加熱

で構造が先に固定されるといった条件では、期待した結着が得られません。mTGは食品の処方と工程に組み込まれて初めて機能する酵素であり、反応の「場」を設計することが品質に直結します [1]。

## 食品カテゴリー別に見るTransglutaminaseの実用価値

### 加工肉・再構成肉：結着、スライス性、歩留まりの安定化

加工肉は、transglutaminaseの代表的な応用領域です。ハム、ソーセージ、鶏肉ロール、成形牛肉、豚肉ポーション、ミンチベース製品では、肉片やタンパク質抽出物が均一に結着し、加熱後も形状を保ち、薄切り時に割れにくいことが求められます。mTGは筋肉タンパク質間の架橋を促すため、切断面のまとまり、スライス時の崩れにくさ、加熱後の保形性を設計する際の有力な酵素技術として扱われます [2]。

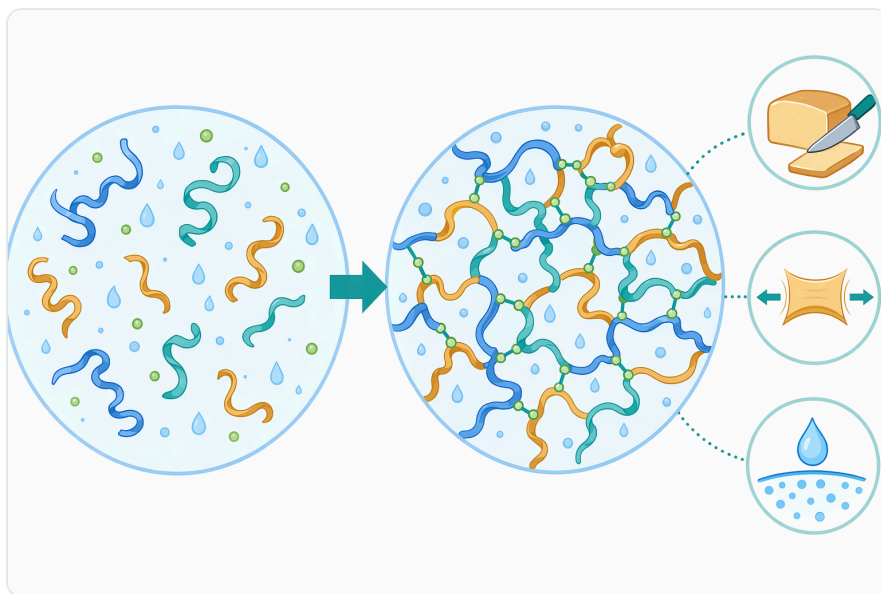


Figure 2. 단백질 교차결합은 느슨한 단백질 집합체를 서로 더 잘 결합된 식품 매트릭스로 바꾸어, 물리적 거동을 달라지게 한다.

低塩・低脂肪処方でも、mTGが検討されることがあります。塩は筋肉タンパク質の抽出とゲル形成に関わるため、減塩設計では従来の結着力が低下しやすくなります。脂肪を減らした製品では、食感が締まりすぎたり、水分が抜けやすくなったりする場合があります。mTGによる架橋は、塩・脂肪・水分・タンパク質のバランスを調整する中で、製品構造を補強する選択肢になります。ただし、減塩や低脂肪の課題を単独で解決するものではなく、リン酸塩、食物繊維、植物タンパク質、加熱条件など他の要素との組み合わせで評価されます [1]。

## 魚介・すり身：ポーション制御と弾力の補強

魚介製品では、原料サイズのばらつき、解凍後のドリップ、筋肉組織の弱さ、すり身ゲルの弾力不足が問題になりやすい領域です。mTGは、魚肉タンパク質を架橋することで、フィレ状製品、成形魚介、すり身、カニ風味かまぼこ様製品、魚肉ベースの高タンパク食品における保形性と食感を調整します。特に、均一な形状と安定した切断面が必要な冷蔵・冷凍流通品では、タンパク質ネットワークの強さが製品価値に直結します<sup>[2]</sup>。

魚種や原料状態による差は大きく、白身魚、赤身魚、甲殻類風味製品、解凍原料、すり身グレードの違いで反応結果は変わります。タンパク質の変性が進んだ原料では、酵素が作用できる部位や水和状態が変化し、期待したゲル形成が得られないこともあります。mTGは魚介素材の歩留まりや食感設計に有用な技術ですが、魚肉タンパク質の鮮度、塩濃度、混合状態、加熱履歴を含めた食品マトリックス全体で考える必要があります<sup>[1]</sup>。

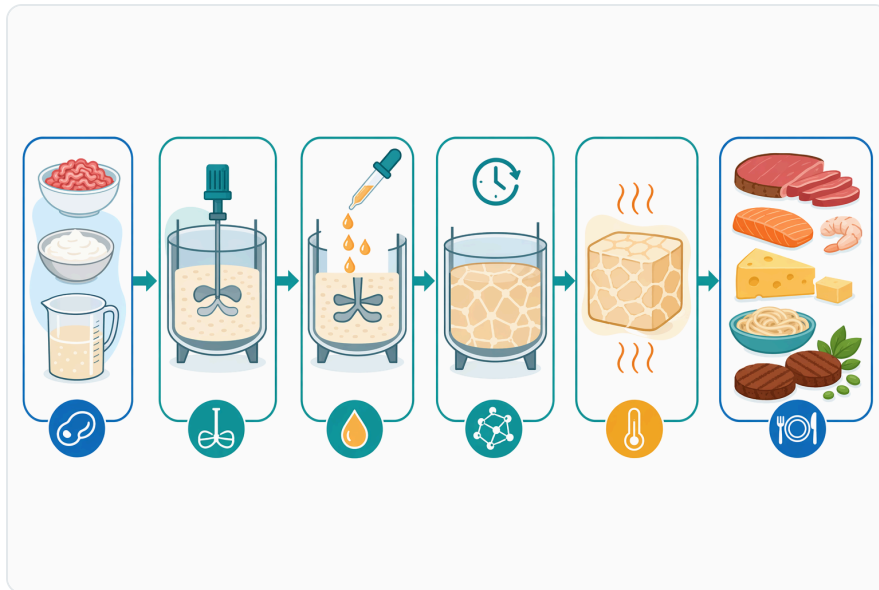
## 乳製品：ヨーグルト、チーズ、タンパク質飲料の離水・口当たり調整

乳製品では、カゼインミセル、ホエイタンパク質、加熱変性タンパク質が複雑なゲルや分散系を形成します。mTGは乳タンパク質間の架橋を通じて、ヨーグルトの離水抑制、チーズのボディ感、低脂肪乳製品の口当たり、タンパク質飲料の粘度や沈殿挙動に影響する可能性があります。乳業分野で酵素技術が品質設計に使われる中、transglutaminaseは乳タンパク質の構造改変に関わる酵素として研究・応用されています<sup>[2]</sup>。

たとえばヨーグルトでは、ゲルのネットワークが粗いと離水が起こりやすく、硬すぎるとスプーン性や口どけが損なわれます。mTGによる架橋は、乳タンパク質ゲルをより緻密にする方向へ働く場合がありますが、発酵前添加、発酵後添加、加熱履歴、乳固形分、スターター培養の挙動によって結果が変わります。チーズでは、凝乳の強さや水分保持、熟成中のテクスチャー変化が関係し、タンパク質飲料では高タンパク化に伴うざらつきや沈殿への対策と組み合わせて検討されます<sup>[1]</sup>。

## 植物タンパク質・代替肉：vegan transglutaminaseという検索語の実務的理解

植物性食品の開発では、「vegan transglutaminase」という検索語が使われることがあります。この表現は、動物由来原料を避ける製品設計で、微生物由来transglutaminaseが検討される文脈を指すことが多い語です。ただし、最終製品をヴィーガン、ベジタリアン、プラントベース、アレルギー対応などとして表示するかどうかは、酵素の由来だけでなく、担体、培地由来成分、加工助剤としての扱い、地域規制、ブランド基準に左右されます。食品科学としては、mTGは植物タンパク質ネットワーク形成を補助する酵素技術として有望視されています<sup>[1]</sup>。



**Figure 3.** 고기 결착에는 노출된 살코기 단백질 표면, 효소의 고른 분포, 밀착 접촉, 반응 시간, 그리고 제품에 적합한 후속 취급이나 조리가 필요하다.

代替肉では、大豆、えんどう豆、小麦、そら豆、米、菜種、ひまわり、藻類由来タンパク質などが用いられます。これらのタンパク質は、筋肉タンパク質と比べて繊維構造や水分保持の性質が異なるため、単純にmTGを加えるだけで肉様食感になるわけではありません。押出成形、せん断セル、加熱ゲル化、油脂の分散、メチルセルロースや多糖類との併用など、他の構造形成技術と組み合わせることで、弾力、噛み応え、ジューシー感、崩れにくさを調整します<sup>[2]</sup>。

「transglutaminase gluten free bread」という検索も見られます。グルテンフリー製パンでは、小麦グルテンのような粘弾性ネットワークが不足するため、米粉、コーン、ソルガム、そば、豆類タンパク質、多糖類、乳化剤、酵素を組み合わせることで構造を作ります。mTGは、配合中の利用可能なタンパク質を架橋し、パンの骨格形成や保水に関与する可能性があります。ただし、グルテンフリー表示では原料由来、交差接触、表示基準が重要であり、mTG自体の機能性と表示適合性は分けて考える必要があります<sup>[1]</sup>。

## 主な用途と期待される品質効果の比較

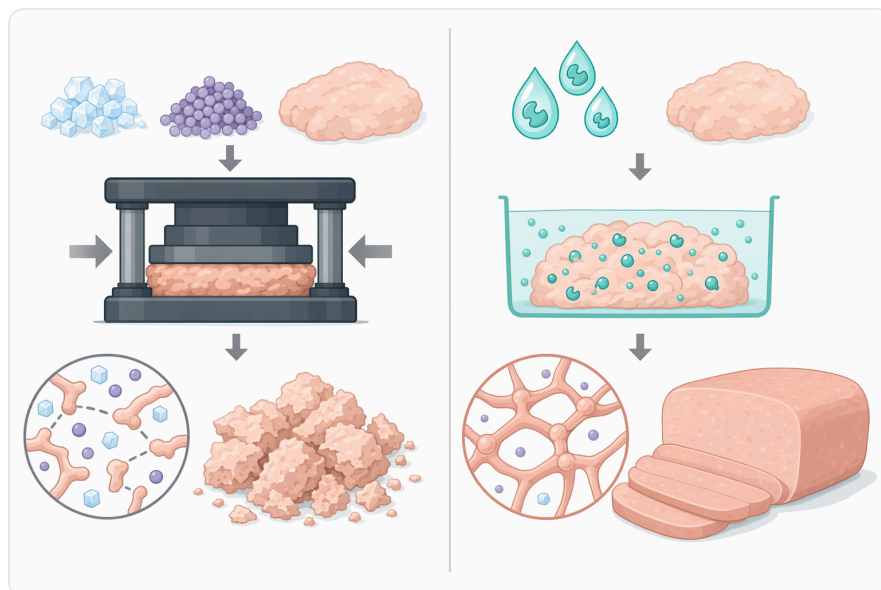
以下の表は、食品カテゴリーごとにtransglutaminaseが狙う構造変化と、処方上の注意点を整理したものです。酵素の働きはタンパク質架橋という共通原理に基づきますが、実際の品質効果は食品マトリックスごとに異なります<sup>[2]</sup>。

食品カテゴリー	主な基質タンパク質	期待される品質効果	設計上の要点
加工肉・再構成肉	筋原線維タンパク質、結合組織由来タンパク質	肉片の結着、スライス性、保形性、加熱後のまとまり	塩分、水分、混合、成形、加熱前保持の影響が大きい
魚介・すり身	魚肉タンパク質、すり身タンパク質	弾力、ポーション安定性、切断面の均一化	魚種、鮮度、解凍履歴、塩濃度、加熱ゲル化との関係が重要
乳製品	カゼイン、ホエイタンパク質	離水抑制、ゲル強度、口当たり、低脂肪品のボディ感	熱履歴、発酵工程、乳固形分、pH変化と連動する
植物タンパク質食品	大豆、えんどう豆、米、菜種、藻類など	弾力、保水性、肉様食感、崩れにくさ	原料ごとのアミノ酸組成、溶解性、変性状態が結果を左右する
グルテンフリー製品	米粉・豆類タンパク質などの補助タンパク質	生地骨格、保水、食感の補助	グルテン代替構造は多糖類・乳化剤・加熱条件との組み合わせで設計する

この比較からわかるように、mTGの機能は「結着」だけに限定されません。保水性、ゲル密度、噛み応え、切断耐性、離水、歩留まり、外観安定性など、タンパク質ネットワークに依存する品質属性へ波及します。加工現場では、最終製品の欠陥が「割れる」「水が出る」「弾力が足りない」「硬すぎる」「切ると崩れる」のどれに近いかを見極め、mTGがその原因となるタンパク質構造に関与できるかを判断することが重要です<sup>[1]</sup>。

## Meat glue aka transglutaminase：俗称と技術的実態の違い

英語圏では、transglutaminaseが「meat glue」と呼ばれることがあります。この表現は、肉片を結着させる用途を直感的に示す一方で、食品技術としてはやや単純化されています。mTGは合成接着剤のように食品外部から固化膜を作るのではなく、食品タンパク質そのもののアミノ酸残基を利用して架橋を形成します。したがって、作用の本質は「接着」ではなく「タンパク質ネットワークの再構成」です<sup>[2]</sup>。



**Figure 4.** 유제품 시스템에서 트랜스글루타미나아제는 눈에 보이는 표면 접착체처럼 작용하기보다 단백질 네트워크의 연결성을 변화시킨다.

この違いは、消費者説明や製品設計にも関わります。肉を貼り合わせる目的だけを強調すると、酵素反応の科学的理解が不足し、乳製品、魚介、植物タンパク質、グルテンフリー食品などでの応用価値が見えにくくなります。実際には、mTGはタンパク質の機能性を変化させる食品酵素であり、肉の結着はその応用の一部です。食品産業におけるmTGのレビューでも、用途は加工肉に限定されず、広範なタンパク質食品の品質改良へ展開されていることが整理されています<sup>[1]</sup>。

ただし、meat glueという俗称が示すように、再構成肉や成形肉では表示、消費者認識、調理時の安全性に注意が必要です。たとえば、複数の肉片を一体化した製品では、外観上は一枚肉に見えても、原料の由来や加工履歴は異なります。食品事業者は、地域ごとの表示規則、衛生管理、調理条件、製品カテゴリーの定義を踏まえて、mTGを使用した製品を適切に設計する必要があります。これは酵素固有の問題というより、再構成食品全般に関わる品質・表示管理の課題です<sup>[2]</sup>。

## 工程への組み込み：粉末酵素を「反応できる場所」に届ける考え方

Transglutaminaseは、タンパク質が水和し、酵素が基質に接触できる状態で作用します。粉末状態の酵素を乾燥原料に混ぜるだけでは、反応は十分に進みません。肉や魚介では、混合、タンブリング、成形、冷蔵保持、加熱前待機などの工程で、タンパク質と酵素が均一に接触することが重要です。乳製品や植物タンパク質食品では、水和、分散、加熱変性、pH変化、せん断の順序が、架橋反応の結果に強く影響します<sup>[1]</sup>。

一般的な工程イメージとしては、まずタンパク質素材を水分や塩、調味料、油脂、安定剤とともに分散させ、mTGが接触できる状態を作ります。次に、成形や充填の前後で反応時間を確保し、目的のネットワーク形成が進んだ段階で加熱、冷却、発酵、包装などの後工程へ移ります。加熱は食品

の安全性、食感固定、酵素活性低下に関わるため、単なる仕上げではなく、酵素反応をどこで止めるかという設計要素にもなります<sup>[2]</sup>。

工程設計では、酵素を均一に分散させることも重要です。局所的に濃く存在すると、斑点状に硬い部分ができたり、逆に反応不足の部分が崩れやすくなったりします。肉製品では、粉体プレミックスへの均一混合、液状調味系への分散、タンブリング中の接触が品質に関係します。植物タンパク質では、水和前の粉体混合と水和後のせん断分散で結果が変わる場合があります。mTGは分子反応の酵素ですが、製品品質として現れるのはマクロな構造であるため、混合工学と食品物性の両方で考える必要があります<sup>[1]</sup>。

## 他の食品酵素・結着技術との違い

食品の食感設計には、transglutaminase以外にもプロテアーゼ、リパーゼ、ラクトース分解酵素、多糖類、乳化剤、リン酸塩、加熱ゲル化、押出成形など多くの技術があります。mTGの特徴は、タンパク質を分解するのではなく、主にタンパク質間に架橋を作る点です。プロテアーゼがタンパク質を切断して柔らかさや風味前駆体を生むのに対し、mTGはネットワークを強化し、結着や保形性を高める方向で働きます<sup>[2]</sup>。

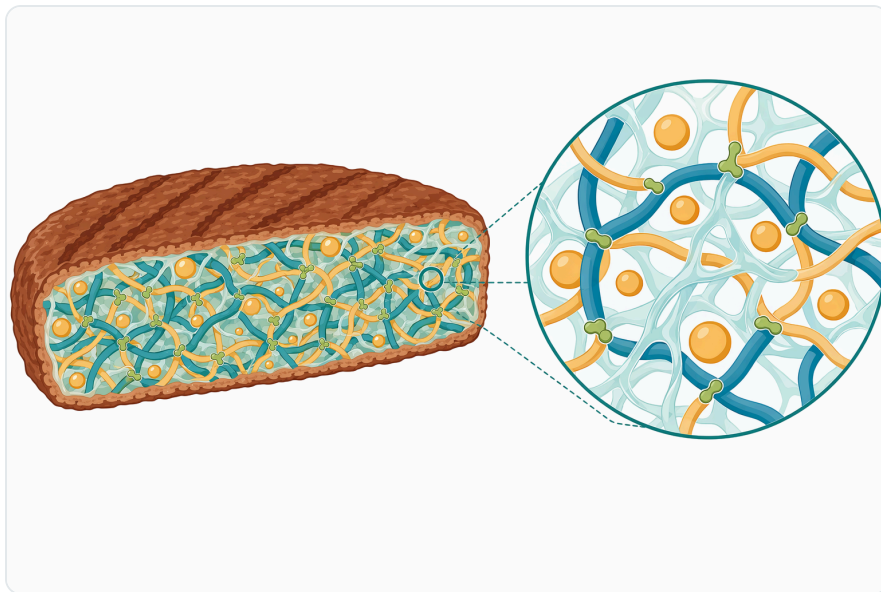


Figure 5. 식물성 대체육은 효소적 단백질 교차결합을 다른 구조 형성 시스템과 결합해 씹는 식감과 형태 유지력을 높일 수 있다.

技術	主な作用	食品での効果	Transglutaminaseとの違い
Transglutaminase	タンパク質間の架橋形成	結着、弾力、保水、保形性	タンパク質ネットワークを酵素的に強化する

技術	主な作用	食品での効果	Transglutaminaseとの違い
プロテアーゼ	タンパク質の加水分解	軟化、風味形成、溶解性変化	架橋ではなく分解方向に働く
多糖類・ゲル化剤	水相の増粘・ゲル化	粘度、保水、形状保持	タンパク質自体を共有結合でつなぐわけではない
リン酸塩・塩	タンパク質抽出・水分保持の補助	歩留まり、結着、ジューシー感	化学的環境を調整し、酵素反応そのものではない
加熱・押出	変性、配向、ゲル化	繊維感、弾力、構造固定	熱・機械エネルギーによる構造形成

この違いを理解すると、mTGをどのような目的で使うべきかが明確になります。柔らかくしたい製品に過度なmTGを使えば逆効果になることがあり、逆に崩れやすい製品にプロテアーゼを使うと構造が弱まる場合があります。mTGは、タンパク質が十分に存在し、そのタンパク質を「切らずに、つなぎたい」場面に適した酵素です。食品設計では、分解、抽出、ゲル化、乳化、架橋のどの機能が不足しているのかを切り分けることが重要です<sup>[1]</sup>。

## 安全性、表示、医療関連検索語との区別

Transglutaminaseは食品加工用酵素として利用されていますが、使用可否、表示方法、加工助剤としての扱い、最終製品での表示義務は国や地域、製品カテゴリーによって異なります。特に、再構成肉、代替肉、グルテンフリー食品、ヴィーガン訴求食品では、消費者にどのように説明されるかが品質と同じくらい重要です。mTGを使った製品は、酵素反応による構造改変を伴うため、社内の食品安全、法規、品質保証、表示管理の枠組みで扱う必要があります<sup>[2]</sup>。

検索語としてのanti tissue transglutaminase、tissue transglutaminase IgA、transglutaminase iga positivoは、食品用mTGの性能を示す語ではありません。これらは、ヒトのtissue transglutaminase、特にtransglutaminase 2に関係する医療検査・免疫学領域の表現として使われます。食品加工用のmicrobial transglutaminaseと、ヒト体内酵素や抗体検査は同じ「transglutaminase」という語を共有しますが、用途、由来、評価文脈が異なります。食品技術文書では、この混同を避けることが重要です<sup>[1]</sup>。

アレルギーや消化性に関しては、mTGがタンパク質構造を変化させる以上、対象となる食品タンパク質の性質を無視することはできません。酵素がアレルギーを消すわけではなく、乳、卵、大豆、小麦、魚、甲殻類などのアレルギー原料を使用する場合は、原料由来の表示と管理が引き続き必要

です。グルテンフリー食品でも、mTGの使用そのものではなく、配合原料、製造環境、交差接触、地域基準が表示適合性を左右します。つまり、mTGは食品構造を作る酵素であって、アレルギー管理や医療判断を代替するものではありません<sup>[2]</sup>。

## Enzymes.bioにおけるTransglutaminaseの位置づけ

Enzymes.bioは、Transglutaminaseを含む食品加工・産業用途向け酵素をオンラインで供給するB2Bサプライヤーです。製造業者や研究所として酵素を開発・製造している立場ではなく、食品会社、加工事業者、製品開発部門、産業ユーザーがオンラインで購入できる形で製品を提供しています。Transglutaminase製品は1 kg単位で直接購入でき、注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。

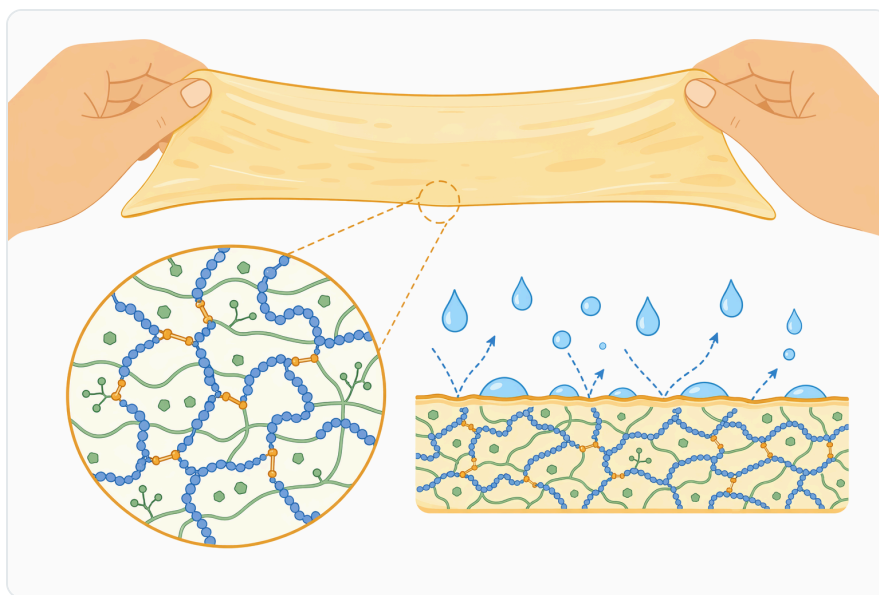


Figure 6. 교차결합은 단백질 기반 식용 필름의 연결성을 높이고 기계적 강도를 강화하며, 급격한 수분 변화에 덜 민감하게 만들 수 있다.

Enzymes.bioで扱うTransglutaminaseは、食品タンパク質の架橋を目的とする用途に適した酵素として位置づけられます。対象となる代表的な領域は、加工肉、魚介、乳製品、植物タンパク質食品、代替肉、高タンパク製品、グルテンフリー処方などです。購入者は、製品ページの情報と注文時に提供される文書を、自社の食品安全・品質保証・表示確認プロセスに組み込むことができます。

本稿は、調達チェックリストや試験手順ではなく、Transglutaminaseの技術的意味、作用機序、食品用途、関連検索語の整理を目的とした解説です。mTGの価値は、タンパク質を単に増やすことではなく、既存のタンパク質をどのように結び、どのような構造にするかを制御できる点にあります。食品開発において、崩れやすさ、離水、スライス不良、弾力不足、保形性不足がタンパク質ネットワークに由来する場合、transglutaminaseは検討価値の高い酵素技術です<sup>[1]</sup>。

## まとめ：Transglutaminaseはタンパク質食品の構造を設計する酵素

Transglutaminaseは、食品タンパク質中のグルタミン残基とリジン残基を架橋し、肉、魚介、乳、植物タンパク質食品の構造を安定化させる酵素です。加工肉では結着とスライス性、魚介では弾力とポーション安定性、乳製品では離水と口当たり、植物タンパク質食品では肉様食感や保水性の設計に関与します。食品産業におけるmTGの応用は複数のレビューで整理されており、タンパク質架橋を利用する実用的な酵素技術として位置づけられています<sup>[2]</sup>。

一方で、mTGの効果は食品マトリックスに依存します。タンパク質の種類、水和、混合、pH、塩分、脂肪、保持時間、加熱工程がそろって初めて、狙った結着や食感が得られます。また、anti tissue transglutaminase、tissue transglutaminase IgA、transglutaminase 2などの医療関連語とは文脈が異なるため、食品加工用microbial transglutaminaseとして区別して理解することが重要です<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioは、Transglutaminaseを食品加工・産業用途向けにオンラインで供給するB2Bサプライヤーです。製品は1 kg単位で購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。タンパク質食品の結着、保水、弾力、切断安定性を改善したい企業にとって、Transglutaminaseは、科学的な作用機序と実用実績に基づいて検討できる酵素技術です。

### Transglutaminase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。

[Transglutaminase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. Miwa, N. (2020). Innovation in the food industry using microbial transglutaminase: Keys to success and future prospects. *Analytical Biochemistry*, 113638 .
2. Kolotylo, V., Piwowarek, K., & Kieliszek, M. (2023). Microbiological transglutaminase: Biotechnological application in the food industry. *Open Life Sciences*, 18.


## 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。