

食品用酵素の市場動向

Market Trends of Food Processing Enzymes

公益社団法人 日本技術士会 登録
 食品産業関連技術懇話会 会員
 白兼技術士事務所 代表
 技術士（生物工学部門）、博士（工学） 白兼 孝雄



産業用酵素は、食品工業、化学工業、医療分野などで広範囲にわたって利用されている。その中でも市場規模が大きい食品用酵素は、食品の加工や製造を目的として多種多様な酵素が利用されており、食品用酵素の市場動向や今後の課題にも大きな関心が集まっている。

キーワード：産業用酵素、食品用酵素、市場規模、GMO酵素、既存添加物、法規制

1 はじめに

産業用酵素は、食品工業、醸造工業、化学工業、製薬工業、洗剤・日用品分野、そして医療分野などで広範囲にわたって利用されている[1～3]。

産業用酵素は、表1（文献[3]から作成）に示すような応用分野に分類することができる

が、酵素が活躍する分野は、医薬用、診断用、化粧品、食品、洗剤・日用品、農林水産、エネルギー、環境、試薬など多岐にわたっている。

産業用酵素のうち、食品の加工や製造に関連する酵素、すなわち食品用酵素は、産業用酵素の中でも市場規模が大きく重要な酵素グループ

表1 産業用酵素の応用分野（文献[3]）

領域	応用分野	主な用途
医薬応用	医薬用	消化酵素、消炎酵素、抗ガン酵素、酵素補充療法、ダイエットサプリメント
	診断用	血糖測定用酵素、コレステロール測定用酵素、診断薬用酵素
	その他	シトクロムP 450
産業応用	化粧品	医薬中間体の合成、アミノ酸・ペプチドの合成、糖ヌクレオチドの合成、アクリルアミドの生産
	食品	タンパク質関連物質の製造・加工、糖質関連物質の製造・加工、脂質関連物質の製造・加工、その他の食品加工
	洗剤・日用品	洗剤用酵素、繊維・紙パルプの加工、トイレタリー
	農林水産	花色改変、植物二次代謝産物の機能改善、酵素農薬（バイオ農薬）、フィターゼの飼料添加、魚肉の物性改善
	エネルギー	バイオマスの利用、バイオエタノールの生産、水素の生産、光合成の効率化、酵素燃料電池
	環境	リパーゼを用いたグリーン・サステイナブルポリマーの合成、バイオポリマーPHAの合成、共重合バイオポリエステル合成、環境汚染物質の分解
	試薬	耐熱性DNAポリメラーゼ、核酸関連酵素、ルシフェラーゼ

を構成している。

本稿では、産業用酵素の市場規模について述べた後に、食品用酵素の製品・製造元・起源やトピックス、GMO（Genetically Modified Organism、遺伝子組換え生物）酵素、第9版食品添加物公定書、法規制の動向を報告する。

2 産業用酵素の市場規模

産業用酵素の市場規模を正確に把握することはかなり難しいとされているが、輸出入統計や様々なデータを参考にして数値が推定されている。表2（文献 [2] から引用）に、産業用酵素の推定市場の一例を示す。

1970年以降、世界の酵素生産と利用は大きく進展し、市場も急拡大して、1997年は1,500億円、2004年は4,200億円に増加した。

用途別項目の中では、食品用酵素の市場が一番大きいですが、種類別酵素では、洗剤用を始め広く使用されているプロテアーゼの市場が最も大きく、総計で1,000億円を超えている。アミラーゼ、リパーゼ、セルラーゼも産業用酵素として重要視され、近年ではフィターゼも飼料用として大きな市場を形成している [4]。

日本市場の占める割合は世界市場の約10%の430億円である [5]。

表2 産業用酵素の推定市場（文献 [2]）

（単位：億円）

用途別項目	世界	日本
食品用	1,000	180
飼料用	300	-
燃料用	250	-
繊維用	200	10
洗剤用	700	60
医薬（バルク）用	600	65
研究用	500	55
診断用	350	40
精密化学用	100	-
その他	200	20
（合計）	（4,200）	（430）

表3 世界の産業用酵素市場の推移と予測（文献 [6]）

（単位：億円、%）

年	市場規模	対前年比
2008	4,290	-
2009	4,640	108.2
2010	4,970	107.1
2011 予測	5,260	105.8
2012 予測	5,540	105.3

表3（文献 [6] から引用）に、世界の産業用酵素市場の推移と予測の一例を示す。2008年の4,300億円規模から、平均5%以上のプラス成長で推移し、2011年には5,000億円規模に達していると予測されている。

なお、酵素市場を地域別に見ると、北米（42%）、西欧（29%）、アジア/太平洋（20%）と、この地域で全体の約90%を占めている [7]。

3 食品用酵素の市場動向

3.1 食品用酵素の製品・製造元・起源

食品用酵素は、表4（文献 [8] から作成）に示すように、糖質関連酵素、細胞組織崩壊酵素、タンパク質関連酵素、脂質関連酵素、その他に分類されている。多種多様な酵素が開発されており、これらの用途も多岐に渡ることが分かる。

表5（文献 [8] から作成）には、食品用酵素の国内および海外の主な製造元と主な起源（微生物、動物、植物）を示す。

3.2 食品用酵素のトピックス

国内の食品用酵素の需要は、ここ数年大きな需要の伸びはないものの、サプライヤー各社は、ユーザーのニーズに対応した動きが加速している。世界市場では、食品用酵素は現在も伸長を続けており、国内のサプライヤーも海外市場で売り上げを伸ばしているところも多い。

また、GMO酵素の利用、ハラール（Halal）やコーシャ（Kosher）の認証対応の動きも出ている [9]。

表4 食品用酵素の製品一覧 (文献 [8])

酵素の分類	主な酵素	主な用途
糖質関連酵素	α -アミラーゼ、イソアミラーゼ、グルコアミラーゼ (アミログルコシダーゼ)、プルラーゼ (澱粉枝切り酵素)、グルコースイソメラーゼ	澱粉の液化、澱粉の枝切り、澱粉の糖化、マルトース・グルコースの製造、製菓、製パン、製粉、醸造用、異性化糖の製造
	α -グルコシダーゼ、 α -ガラクトシダーゼ	醸造用、オリゴ糖の分解
	β -アミラーゼ、マルトトリオヒドロラーゼ、サイクロデキストリングルカノトランスフェラーゼ	水飴・マルトース・マルトトリオースの製造、サイクロデキストリンの製造
	トランスグルコシダーゼ、インベルターゼ	分岐オリゴ糖の製造、転化糖の製造
	β -ガラクトシダーゼ (ラクターゼ)	乳糖分解、乳製品加工
	デキストラナーゼ、イヌリナーゼ	デキストランの分解、イヌロオリゴ糖の製造
	グルコースオキシダーゼ	製菓、製パン、脱糖
細胞組織崩壊酵素	ペクチナーゼ、ペクチンメチルエステラーゼ	果汁の清澄、搾汁率の向上、果肉の安定化
	ヘスペリジナーゼ、ナリンジナーゼ	みかん缶詰白濁防止、柑橘類苦み除去
	タンナーゼ	茶飲料等の混濁防止、タンニンの分解
	セルラーゼ、ヘミセルラーゼ	野菜・果実の加工処理、製粉、製パン、醸造用
	キシラナーゼ、キチナーゼ	製パン、製菓、キシランの分解、キチンの分解
	マンナーゼ	コーヒー・グアールガムの加工
	グルカナーゼ	醸造用、野菜・果実・穀物の処理
リゾチーム	溶菌、食品の日持ち向上	
タンパク質関連酵素	細菌・糸状菌・放線菌プロテアーゼ、ペプチダーゼ、酸性・中性・アルカリ性プロテアーゼ	タンパク質の加工 (ペプチド・調味料・味噌・醤油の製造)、醸造用、製菓、製パン、製粉
	パパイン、プロメライン	食肉の軟化、製菓、製パン、エキスの製造
	レンネット、キモシン、ペプシン	チーズの製造
	トリプシン、バンクレアチン	タンパク質の分解
脂質関連酵素	リパーゼ	油脂の加工 (エステル合成・交換)、フレーバーの改善、製菓、製パン、製粉
	ホスホリパーゼ	リゾレシチンの製造、製菓、製パン、卵加工用
	酸性ホスファターゼ	食品加工
その他	カタラーゼ、パーオキシダーゼ	過酸化水素の分解除去、製パン、乳製品の加工
	デアミナーゼ、ヌクレアーゼ	5'-ヌクレオチド・核酸調味料の製造
	ポリフェノールオキシダーゼ	茶飲料の着色等酸化重合反応の触媒
	キトサナーゼ	キトサンオリゴ糖の製造
	アスパラギナーゼ、グルタミナーゼ	アクリルアミドの発生防止、グルタミン酸の増強
	トランスグルタミナーゼ	水産練り製品・食肉加工品・麺類の食感・物性の改良、畜肉・魚介類の接着
	アスコルビン酸オキシダーゼ	水産練り製品の食感・物性の改良
	β -グルコシダーゼ	茶飲料・果汁飲料の香気改良
	アルギン酸リアーゼ、フィターゼ	アルギン酸の分解、フィチンの分解
	ウレアーゼ	清酒・酒質の保全剤
	清酒用酵素	清酒麴の代替、清酒醸造用
	植物組織崩壊酵素	果実・野菜・穀物の可溶化

①新規酵素指定の動き

アスパラギナーゼは、食品中のアスパラギンをアスパラギン酸に分解することによりアクリルアミドの生成を抑える効果があることから世界的に需要が増している酵素で、2013年9月に

は食品安全委員会添加物専門委員会の安全性評価を終了し、指定に向けて手続きが進められている [10、11]。

プロテイングルタミナーゼは、タンパク質中のグルタミン残基をグルタミン酸残基に変換

表5 食品用酵素の製造元と起源（文献 [8]）

主な製造元	
国内	アサヒフードアンドヘルスケア、味の素、天野エンザイム、エーザイフード・ケミカル、エイチビィアイ、科研製薬、キッコーマンバイオケミファ、キューピー、グリコ栄養食品、合同酒精、新日本化学工業、タイショーテクノス、ナガセケムテックス、ポリホス化学研究所、松谷化学工業、三菱化学フーズ、名糖産業、ヤクルト薬品工業、洛東化成工業
海外	AB Enzymes、Advanced Biochemicals、Chr. Hansen、Danisco、Danisco/Genencor、DSM Food Specialties、DSM Valley Research、Kerry/Biocon、Kerry Bio-Science Cork/Ireland、Novozymes
主な起源	
細菌	<i>Bacillus</i> 属、 <i>Geobacillus</i> 属、 <i>Klebsiella</i> 属、 <i>Microbacterium</i> 属、 <i>Micrococcus</i> 属
糸状菌	<i>Aspergillus</i> 属、 <i>Chaetomium</i> 属、 <i>Penicillium</i> 属、 <i>Rhizomucor</i> 属、 <i>Rhizopus</i> 属、 <i>Trametes</i> 属、 <i>Trichoderma</i> 属
放線菌	<i>Actinomadura</i> 属、 <i>Streptomyces</i> 属
酵母	<i>Candida</i> 属、 <i>Kluyveromyces</i> 属、 <i>Saccharomyces</i> 属
動物	子牛の第4胃、豚の胃・膵臓、卵白
植物	大麦、小麦、かぼちゃ、大豆、パイナップル、パパイヤ

（脱アミド化）することにより、新しい応用の可能性（タンパク質の溶解性、乳化性、気泡性の向上等）が広がると期待される。日本では、2012年3月の食品安全委員会での許可が待たれたが、追加試験成績を待って再度の審議をすることになっている [12、13]。

②酵素による歩留り向上・品質改良技術

日持ち向上・品質改良に寄与する製菓・製パン用酵素として、グルコースオキシダーゼ、 α -アミラーゼ、ヘミセルラーゼ、セルラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼが注目されている。

調味料分野でプロテアーゼなどの酵素が使われているが、エキス系を中心に歩留まり向上、ペプチド系のコク味、マスキング効果などが評価されている。

また、タンパク質の品質改良に使うトランスグルタミナーゼ、肉の食感を保ちつつ軟らかくするプロテアーゼなどが有効利用されている [9]。

③酵素を用いた機能性素材開発

機能性糖質の開発では、整腸作用をもつオリゴ糖、サイクロデキストリン、大環状デキストリンであるクラスターデキストリン、砂糖からつくられるイヌリン、とうもろこしパルプからつくられるアラビノースなど、また機能性タン

パク質の開発では、低アレルゲンの乳ペプチド、易吸収性の大豆ペプチド、機能性を高めた低分子コラーゲン、その他血圧上昇抑制や中性脂肪低下などの機能性ペプチドなどが注目されている [9]。

④酵素による高齢者食品の開発

高齢者食品の開発に向けて、酵素を用いた食材の軟化技術も注目を集めている。ペクチナーゼ、セルラーゼ、ヘミセルラーゼなどを組み合わせて、野菜などの植物系素材を軟らかくする。形状を残したまま味もそのまま美味しく、かつ素材をソフトにするため、高齢者向けのソフト食や嚥下介護食には最適である [9]。

3.3 GMO酵素

近年、GMO酵素の商業生産が可能となっている [14]。

表6（文献 [15] から作成）に、日本で安全性審査の経路を経たGMO由来の食品用酵素（審査数：16）の概要を示す（平成26年4月10日現在）。

海外では、経済性や酵素安定性が評価され着実に市場を形成しつつあるGMO酵素であるが、わが国ではこれまで市場での不安が先行し、

表6 日本で安全性審査の手続を経たGMO由来の食品用酵素（文献 [15]）

対象品目	審査数	性質	開発者等
α -アミラーゼ	6	生産性向上 耐熱性向上	Novozymes A/S（デンマーク） Genencor International, Inc.（米国）
キモシン	2	生産性向上 キモシン生産性	DSM（オランダ） Chr. Hansen A/S（デンマーク）
プルナーゼ	2	生産性向上	Genencor International, Inc.（米国） Novozymes A/S（デンマーク）
リパーゼ	2	生産性向上	Novozymes A/S（デンマーク）
グルコアミラーゼ	1	生産性向上	Novozymes A/S（デンマーク）
α -グルコシルトランスフェラーゼ	2	生産性向上、性質改変	江崎グリコ
シクロデキストリングルカノ トランスフェラーゼ	1	生産性向上、性質改変	日本食品化工

率先して利用しようというユーザーは稀であった。しかし、澱粉加工業や製パン業では、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼを中心に徐々に利用は拡がっているようである。また油脂加工業では、リパーゼを使用したトランス脂肪酸フリー製品への対応が試みられている [9]。

3.4 第9版食品添加物公定書

第8版食品添加物公定書 [16] 収載の酵素5品目と第4版既存添加物自主規格 [17] 収載の酵素62品目を合わせて、67品目の酵素の規格が整備され、既存添加物の酵素に関して第9版食品添加物公定書へ移行する準備が整った [18]。

第9版食品添加物公定書作成検討会報告書（2014年3月26日）によると、第9版公定書で新規に指定される品目は、既存添加物の未収載品目が主となるが、62品目が酵素品目となっている。既存添加物名簿では、酵素はその機能が品目名となっていることから、FAO/WHO合同食品添加物専門家委員会（JECFA）の規格などとの整合性を図るために、解決すべき課題（酵素活性の規定など）が検討された [19、20]。

今後、第9版公定書は、食品安全委員会への諮問、消費者庁への連絡、パブリックコメント、WTO通報などの手続を経て、2015年に官報告示される計画となっている [20]。

3.5 食品用酵素の法規制

食品及び食品添加物の安全性確保は世界各国の共通の課題である。

JECFAは、各国によって実施された食品添加物の安全性試験の結果を評価し、会議報告は、WHOテクニカルレポートシリーズとして毎年公表されている [21]。

米国では、食品に使用される酵素は、米国食品医薬品局（FDA）の許可を受けた食品添加物と、一般的に安全とみなされるGRAS（Generally Recognized as Safe）物質に分類される。なおGRAS物質は、1997年以降はFDAに届出する場合と自己認定する場合に変わってきている [22]。

また、欧州連合（EU）では、2008年12月に食品改良剤一括法（FIAP）が公布され、欧州向けの食品製造用酵素（加工助剤酵素）および食品に使用される食品製造用酵素については、食品酵素に関する規則（EC No 1332/2008）に基づき、2015年3月までに欧州の共同体リスト（食品用酵素のポジティブリスト）に登録申請するよう要請されている。申請受理後に、欧州食品安全機関（EFSA）等で酵素の安全性評価が行われ、ポジティブリストに収載される予定である [23、24]。

4 おわりに

産業用酵素のうち、多様な用途に用いられる食品用酵素の市場規模は大きく、新規酵素をはじめとする我が国の技術開発力が他国より進んでいることもあり、世界における日本の立場は益々重要となっている。

一方、食品用酵素の製造技術や用途拡大の進展に伴い、既存添加物酵素の食品添加物公定書への収載、GMO酵素の審査や利用、各国の法規制への対応など、緊急で重要な課題も山積しており、早急な対応が望まれる。

今後も、バイオテクノロジー分野の発展とともに、我が国における新規酵素と新規技術の開発とが相俟って、産業用酵素の用途が多方面に広がることを切望する。

<引用文献>

- [1] 井上國世監修：産業酵素の応用技術と最新動向、シーエムシー出版、2009
- [2] 中森茂：技術の系統化調査報告 第14集、酵素の生産と利用技術の系統化 3、独立行政法人 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター、2009
- [3] 小宮山眞監修：酵素利用技術体系－基礎・解析から改変・高機能化・産業利用まで－、エヌ・ティー・エス、2010
- [4] 紀藤邦康：世界の酵素市場、第7回酵素応用シンポジウム講演要旨、pp. 14-15、2006
- [5] 日本酵素協会編：日本酵素産業小史、日本酵素協会、2009
- [6] シーエムシー出版編：産業用酵素の市場、BIO INDUSTRY、29 (4)、pp.68-73、2012
- [7] シーエムシー出版編：産業用酵素の市場、BIO INDUSTRY、26 (10)、pp. 74～81、2009
- [8] 月刊フードケミカル編：食品加工用酵素製品一覧、月刊フードケミカル、2012-10、pp. 63-80、2012
- [9] 食品と開発編：食品加工用酵素の市場動向、食品と開発、49 (2)、pp. 43-49、2014
- [10] 内閣府ホームページ：食品安全委員会・第122回添加物専門調査会の会議資料詳細、2013年9月24日
- [11] 農林水産省ホームページ：食品中のアクリルアミドを低減するための指針(第1版)、2013年11月27日公表
- [12] 内閣府ホームページ：食品安全委員会・第104回添加物専門調査会の会議資料詳細、2012年3月27日
- [13] 内閣府ホームページ：第427回食品安全委員会の会議資料詳細、2012年4月12日
- [14] 池田衆一：GMO由来の食品用酵素にできること、月刊フードケミカル、2007-9、pp. 36～38、2007
- [15] 厚生労働省ホームページ：安全性審査の経路をたどった旨の公表がなされた遺伝子組換え食品及び添加物一覧、平成26年4月10日現在
- [16] 厚生労働省ホームページ：第8版食品添加物公定書、2007
- [17] 日本食品添加物協会技術委員会・自主規格専門委員会編：既存添加物自主規格(第4版)、一般社団法人 日本食品添加物協会、2008
- [18] 浅田敏：酵素品目の第4版既存添加物自主規格収載と第9版食品添加物公定書移行の課題、月刊フードケミカル、2008-12、pp. 57-61、2008
- [19] 穂山浩：食品添加物公定書の課題と将来の展望、Foods & Food Ingredients Journal of Japan、217 (7)、pp. 351-353、2012
- [20] 米谷民雄：第9版食品添加物公定書作成検討会の報告書内容について概説、一般財団法人 食品分析開発センター・メールマガジン、2014年9月発行
- [21] 公益財団法人 日本食品化学研究振興財団

ホームページ：食品添加物の安全性・食品添加物のJECFA安全性評価、更新日；2012年5月29日

[22] 伊藤大介（シカゴ事務所発）：食品成分認証制度の最近の動き（米国）～食品添加物への規制・監督強化の可能性～、J A S 情報、48（12）、pp. 45-46、2013

[23] 橋田みよ子：欧州における食品酵素規制の動向、月刊フードケミカル、2012-10、pp. 58-62、2012

[24] 日本酵素協会ホームページ：欧州議会及び理事会規則（EC No.1332/2008）対応へのご協力のお願い、2014年3月5日