

酵素の分類と命名法

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



1800 年代に酵素の働きが解明され、1900 年代半ばまでに酵素科学の基礎が確立された。1961 年に国際生化学連合(IUB)酵素委員会は、酵素の分類と命名法に関する報告書を公刊し、酵素を識別するために、酵素番号 (EC 番号) および系統名と常用名を付与することを勧告した。本稿では、産業分野でよく利用されている食品用酵素について、酵素の分類例とその触媒作用を概説した。

キーワード：酵素の分類、酵素の命名法、酵素番号、系統名、常用名、別名

1 はじめに [1-7]

ペイアン (A. Payen) とペルソ (J. Persoz) は 1833 年に、麦芽からデンプンを分解する成分を物質として初めて抽出し、ジアスターゼと命名した。

ムルダー (G. J. Mulder) が 1838 年に、窒素を含む生体物質に “protein” という語を初めて用いた。キューネ (W. Kühne) は 1878 年に、酵素を「酵母の中にあるもの」の意味から “enzyme” と命名した。

ブフナー (E. Buchner) が 1897 年に、酵母の細胞を摩砕し、細胞がなくても発酵現象 (二酸化炭素の発生) が起こることを発見した。酵母が生産した何らかのタンパク質が発酵を起こすと考え、チマーゼ (zymase) と命名した。

サムナー (J. B. Sumner) が 1926 年に、ナタ豆からウレアーゼを結晶化し、酵素の本体がタンパク質であることを証明した。

1800 年代に酵素の働きが解明され、1900 年代半ばまでに、酵素科学の基礎が確立された。

なお、日本語の「酵素」という訳語は、松原行一が東京化学會誌 20 卷 (1899 年) で用いたのが初めてだといわれている。

2 酵素の分類と命名法 [8-18]

デュクロー (É. Duclaux) は 1898 年に、酵素の命名法として、酵素が作用する物質 (基質) を示す語根に “ase” を付け足すことを提案した。

例えば、デンプン (ラテン語で amyllum) の語根 (amyl) に “ase” を付け足して、アミラーゼ (amylase) がデンプンに作用する酵素の名称となった。同様に、タンパク質 (protein) に作用する酵素をプロテアーゼ (protease) という。

この他に、酵素の作用を表わす術語の後に “ase” を付け足して使われるようになった酵

素の名称も多い。例えば、酸化反応を触媒する酵素は、酸化 (oxidation) 酵素でオキシダーゼ (oxidase) と名付けられた。グルコースを酸化する酵素をグルコースオキシダーゼ (glucose oxidase) と呼ぶ。

2.1 酵素の分類と命名法の勧告

1950 年代まで、報告される酵素の数が急激に増えていたにも関わらず、個別の研究者が独自に酵素を命名していた。例えば、1 つの酵素が幾つかの異なる名称で呼ばれたり、逆に異なるタイプの酵素に同一の名称が付けられることもあった。酵素の多くは、その触媒する反応に基づいて命名されていないなどの混乱も生じた。

そこで、国際生化学連合 (IUB) (現在の国際生化学分子生物学連合、IUBMB) は、これらの混乱を解決する目的で 1956 年に酵素委員会を設立した。

この酵素委員会が 1961 年に、酵素の分類と命名法に関する “Report of the Enzyme Commission” を公刊して、酵素の系統的な分類と命名法を勧告した (表 1)。その他に、酵素の単位、酵素速度論パラメーターの表記法、補酵素の命名法も勧告した。

1964 年～1992 年に、5 冊の完全印刷版 “Enzyme Nomenclature” が出版された。引き続き、印刷版 (Supplement 1～5)、ウェブ版 (Supplement 6～21) が出版されている。

なお 2017 年 9 月現在、知られている酵素の分類上の数は、5,900 を超えている。

表 1 国際生化学連合 (IUB) ^(*) 酵素委員会の報告 [16]

酵素命名法の完全印刷版	酵素の数
Report of the Enzyme Commission (1961)	712
Enzyme Nomenclature (1964)	875
Enzyme Nomenclature (1972)	1,770
Enzyme Nomenclature (1978)	2,122
Enzyme Nomenclature (1984)	2,477
Enzyme Nomenclature (1992)	3,196
酵素命名法の印刷版	
Supplement 1 (1993), Supplement 4 (1997)	
Supplement 2 (1994), Supplement 5 (1999)	
Supplement 3 (1995) [in Eur. J. Biochem.]	
酵素命名法のウェブ版	
Supplement 6 (2000) ～ Supplement 21 (2015)	

(*) 現在は国際生化学分子生物学連合 (IUBMB) に改称

2.2 酵素の分類

酵素委員会は、酵素の分類と酵素番号の付与を同時に解決する方法を考えた。すなわち、酵素の特性 (反応特異性と基質特異性) の違いにより、酵素に 4 組の酵素番号 (EC 番号、Enzyme Commission numbers) (EC X.X.X.X) (X は数字) を付与する以下のような方法である。

① 酵素番号の第 1 区分の数字は、その酵素が

反応特異性により主分類された 6 つのクラス (class) (表 2) のいずれに属するかを示す。

② 酵素番号の第 2 区分の数字は、基質特異性により副分類されたサブクラス (subclass) で、酵素が作用する結合の種類などの反応様式を示す。

③ 酵素番号の第 3 区分の数字は、基質特異性により更に副々分類されたサブ-サブクラス (sub-subclass) で、酵素が作用する基質の種類や必要な補酵素などの反応様式を示す。

④ 酵素番号の第4区分の数字は、第3区分における通し番号 (serial number) で、酵素がリストに加えられた順番である。

2.3 酵素の命名法

酵素は、基質の名称 (複数の場合は併記) と反応の名称を連結して命名される。

酵素には、系統名 (systematic name) と常用名 (accepted name) が与えられる。

系統名は、一定の法則に従ってその酵素を正確に識別できる名称である。

常用名は、それほど正確で系統的である必要はなく、現行の酵素名の大部分も使用されている。常用名は系統名より簡潔で使いやすい名称であり、たいいていは常用名が通用する。以前の常用名は、trivial name、recommended name、common name ともいわれていた。

古くから発見され命名された酵素名は、当時の名称が別名 (other name) として残されている。

表3に、アルコールの CH-OH 結合に作用する酵素の分類と命名法の1つの例を示す。

表2 酵素の分類

EC 番号	クラス
1	オキシドレダクターゼ (oxidoreductase、酸化還元酵素)
2	トランスフェラーゼ (transferase、転移酵素)
3	ヒドロラーゼ (hydrolase、加水分解酵素)
4	リアーゼ (lyase、脱離酵素)
5	イソメラーゼ (isomerase、異性化酵素)
6	リガーゼ (ligase、連結酵素、合成酵素)

表3 酵素の分類と命名法の例

EC 番号	EC 1.1.1.1
第1区分の数字	オキシドレダクターゼ (酸化還元酵素)
第2区分の数字	供与体の CH-OH 結合に作用
第3区分の数字	受容体として NAD ⁺ あるいは NADP ⁺ を利用
第4区分の数字	通し番号 (酵素がリストに加えられた順番)
対象化合物	アルコール (例えば、エタノール CH ₃ -CH ₂ -OH)
系統名	アルコール : NAD ⁺ オキシドレダクターゼ
常用名	アルコールデヒドロゲナーゼ
別名	アルデヒドレダクターゼ、エタノールデヒドロゲナーゼなど

3 酵素の分類例

現在の酵素の利用分野は、産業分野 (食品用酵素、工業用酵素) とメディカル・研究分野に大別される。

産業分野の中でも、よく利用されている食品用の糖質およびタンパク質に関連する酵素について分類例と作用機作を概説する。

3.1 糖質関連酵素の例 [19-27]

代表的な糖質関連酵素は、① デンプンなどのグリコシド結合を加水分解するグリコシダーゼ (glycosidase) (アミラーゼ) と、② 合成をつかさどるヘキソシルトランスフェラーゼ (hexosyltransferase) (糖転移酵素) である (表4、図1)。

① 産業上有用なアミラーゼは、次のように大

別されている。

(a) α -アミラーゼ： α -1,4-グルコシド結合をエンド型に加水分解、生成物は α -アノマー。

(b) β -アミラーゼ： α -1,4-グルコシド結合を非還元末端からマルトース単位でエキソ型に加水分解、生成物は β -マルトース。

(c) グルコアミラーゼ： α -1,4-グルコシド結合を非還元末端からグルコース単位でエキソ型に加水分解、生成物は β -グルコース。

(d) 枝切り酵素： α -1,6-グルコシド結合を加水分解、生成物は直鎖状のアミロース。

なお、 α -アミラーゼとその関連酵素を、加水分解および糖転移などの機能面に基づいて、独自の概念として α -アミラーゼファミリーが提唱されている。糖質加水分解酵素 (Glycoside Hydrolase: GH) については、立体構造的類縁性などに基づき GH ファミリーの分類が行われている。

② 糖転移酵素の例として、CGTase、アミロマルターゼ、ブランチングエンザイムによるデンプンなどを原料とした重合度 (Degree of Polymerization、DP) の異なる環状化反応が報告されている。

表4 糖質関連酵素の例

EC 番号	常用名
グリコシダーゼ (EC 3.2.1)	
3.2.1.1	α -アミラーゼ
3.2.1.2	β -アミラーゼ
3.2.1.3	グルカン 1,4- α -グルコシダーゼ (別名: グルコアミラーゼ)
3.2.1.41	プルナーゼ (別名: 枝切り酵素)
3.2.1.68	イソアミラーゼ (別名: 枝切り酵素)
ヘキシシルトランスフェラーゼ (EC 2.4.1)	
2.4.1.18	1,4- α -グルカンブランチングエンザイム (別名: ブランチングエンザイム、枝作り酵素、Q-酵素)
2.4.1.19	シクロマルトデキストリングルカノトランスフェラーゼ (別名: CGTase)
2.4.1.25	4- α -グルカノトランスフェラーゼ (別名: アミロマルターゼ、D-酵素)

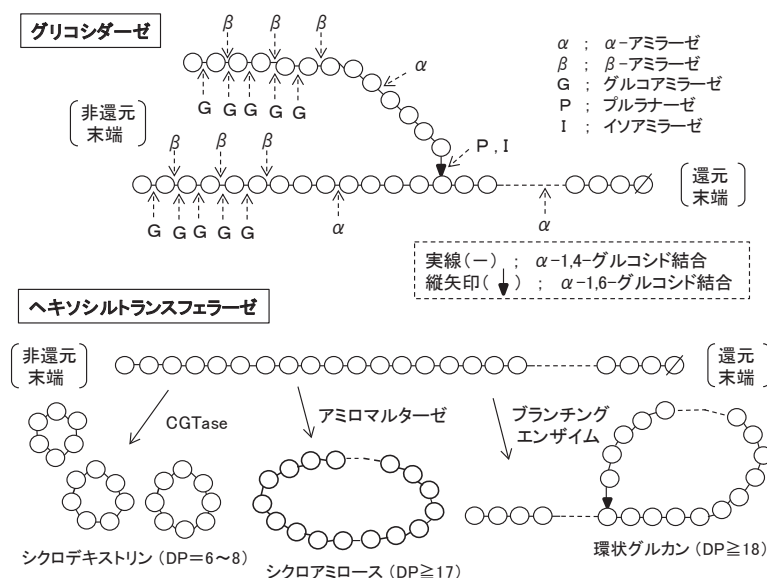


図1 糖質関連酵素の作用模式図

3.2 タンパク質関連酵素の例 [28-35]

ペプチド結合を加水分解する酵素の総称がペプチダーゼ (peptidase) である。アミラーゼと同様に、ペプチダーゼは、① エンド型と② エキソ型に分類される (表5、図2)。

① タンパク質分子の内部のペプチド結合を加水分解して、幾つかのペプチドにする酵素を、エンドペプチダーゼ (endopeptidase)、プロテアーゼ (protease)、またはプロテイナーゼ (proteinase) と呼ぶ。

プロテアーゼは、活性部位のアミノ酸によ

って、5種類のプロテアーゼに分類される。

産業上有用なプロテアーゼは、セリンプロテアーゼ (トリプシン、キモトリプシンなど)、システインプロテアーゼ (パパイン、ブロメラインなど)、アスパラギン酸プロテアーゼ (ペプシン、キモシンなど)、金属プロテアーゼ (細菌、放線菌、カビの中性プロテアーゼなど) である。

② 基質のアミノ末端 (N 末端)、またカルボキシル末端 (C 末端) から逐次切断してアミノ酸やジペプチドなどを遊離する酵素を、エキソペプチダーゼ (exopeptidase) と呼ぶ。

表5 タンパク質関連酵素の例

EC 番号	酵素名 (サブ-サブクラス)	
エキソペプチダーゼ		
3. 4. 11	アミノペプチダーゼ	
3. 4. 14	ジペプチジル-ペプチダーゼ	(ジペプチジルアミノペプチダーゼ)
	トリペプチジル-ペプチダーゼ	(トリペプチジルアミノペプチダーゼ)
3. 4. 15	ペプチジル-ジペプチダーゼ	(ジペプチジルカルボキシペプチダーゼ)
3. 4. 16	セリン型カルボキシペプチダーゼ	} (カルボキシペプチダーゼ)
3. 4. 17	金属カルボキシペプチダーゼ	
3. 4. 18	システイン型カルボキシペプチダーゼ	
エンドペプチダーゼ (プロテアーゼ)		
3. 4. 21	セリンエンドペプチダーゼ	(セリンプロテアーゼ)
3. 4. 22	システインエンドペプチダーゼ	(システインプロテアーゼ)
3. 4. 23	アスパラギン酸エンドペプチダーゼ	(アスパラギン酸プロテアーゼ)
3. 4. 24	金属エンドペプチダーゼ	(金属プロテアーゼ)
3. 4. 25	スレオニンエンドペプチダーゼ	(スレオニンプロテアーゼ)

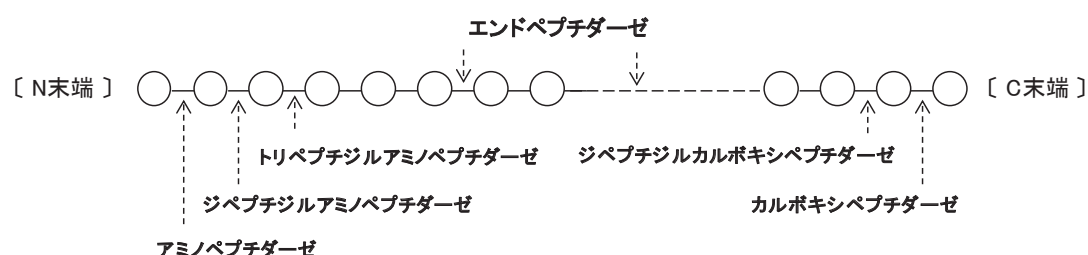


図2 タンパク質関連酵素の作用模式図

4 おわりに [36-39]

産業界では便宜上、産業用酵素を分野別や用途別に分類する方法が用いられている。

例えば、食品用酵素は、糖質およびタンパク質に関連する酵素以外に、脂質関連酵素 (リパーゼ、ホスホリパーゼ)、植物組織崩壊酵素 (セルラーゼ、ペクチナーゼ、ヘミセルラー

ゼ)、核酸関連酵素(エンドヌクレアーゼ、アデニル酸デアミナーゼ)、アミノ酸関連酵素(アスパラギナーゼ、グルタミナーゼ)などに分類されて広く利用されている。

これらの酵素を食品の加工や製造に応用す

る場合には、酵素の基質特異性、特徴や機能、および利用方法を理解するうえでも、酵素番号や系統名(常用名)は重要な指標になる。

今一度、酵素の分類と命名法の成り立ちと体系に関心を寄せて欲しい。

<参考文献>

- [1] 太田隆久監修、バイオインダストリー協会バイオテクノロジーの流れ編集委員会編(2002):「バイオテクノロジーの流れー過去から未来へ:年表付き」(改訂第2版)、化学工業日報社
- [2] 日本酵素協会「日本酵素産業小史」ワーキンググループ編(2009):「日本酵素産業小史」、日本酵素協会
- [3] 井上國世監修(2015):「酵素応用の技術と市場2015」、シーエムシー出版
- [4] 白兼孝雄(2016):わが国における食品用酵素の産業小史、JAS情報、51(5)、1-6
- [5] 白兼孝雄(2016):酵素科学概論、食品の包装、48(1)、26-32
- [6] 中村隆雄(1991):「酵素のはなしー生命を支えるその精巧なはたらき」(追補版)、学会出版センター
- [7] 松原行一(1899):酵素水加作用ノ可逆ナルコト、東京化学會誌、20(1)、90
- [8] 田宮信雄訳(1963):「酵素名・酵素反応記号一覧:国際生化学連合酵素委員会報告」、共立出版
- [9] 能勢善嗣(1965):「国際生化学連合酵素委員会」の1964年度勧告による「酵素命名法」について、ビタミン、32(5)、409-423
- [10] 八木達彦(1981):酵素の命名から登録まで、日本農芸化学会誌、55(6)、533-538
- [11] 廣海啓太郎、森田雄平(1984):酵素ー発酵素からの出発とX線構造解析に至るまで、化学と生物、22(9)、552-559
- [12] 小巻利章(2000):「酵素応用の知識」(第4版)、幸書房
- [13] Purich, D.L., Allison, R.D. (2002): "The enzyme reference: a comprehensive guidebook to enzyme nomenclature, reactions, and methods", Academic Press
- [14] 八木達彦他編(2008):「酵素ハンドブック」(第3版)、朝倉書店
- [15] 井上國世監修(2016):「初めての酵素化学」、シーエムシー出版
- [16] Enzyme Nomenclature (<http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>)
- [17] ExplorEnz - The Enzyme Database (<http://www.enzyme-database.org/>)
- [18] Enzyme Database BRENDA (<http://www.brenda-enzymes.info/>)
- [19] 中村道徳監修(1986):「アミラーゼー生物工学へのアプローチ」、学会出版センター
- [20] 岡田茂孝、北畑寿美雄監修(1999):「工業用糖質酵素ハンドブック」、講談社
- [21] 寺田喜信(2002):大環状グルカンの酵素合成と応用、化学と生物、40(3)、152-158
- [22] 猪飼 篤他編(2008):「タンパク質の事典」、アミラーゼ、104-108/糖代謝関連酵素、678-681、朝倉書店
- [23] 不破英次他編(2010):「澱粉科学の事典」(普及版)、朝倉書店
- [24] 栗木 隆他(2014): α -アミラーゼファミリーの概念提唱とその産業的利用、応用糖質科学、4(1)、17-22
- [25] 伏信進矢(2015):新規な糖質関連酵素の構造と機能解析、化学と生物、53(1)、45-50
- [26] 奥山正幸(2015):糖質加水分解酵素ファミリー内の機能の保存性と多様性、化学と生物、53(2)、120-126
- [27] CAZy Carbohydrate-Active enZymes Database (<http://www.cazy.org/>)
- [28] 一島英治編著(1983):「プロテアーゼ」、学会出版センター
- [29] 武谷浩之、鈴木宏治(2001):プロテアーゼの分類、医学のあゆみ、198(1)、3-9
- [30] 猪飼 篤他編(2008):「タンパク質の事典」、タンパク質分解酵素、639-640、朝倉書店
- [31] 伊藤 潔(2009):ペプチド最終分解系に関与するエキソペプチダーゼの構造と機能、生化学、81(1)、5-16
- [32] Rawlings, N.D. and Salvesen, G. (2013): "Handbook of Proteolytic Enzymes" (3rd ed.), Vol. 1-3, Academic Press
- [33] 山形洋平(2016):黄麹菌 *A. oryzae* のタンパク質分解酵素、化学と生物、54(2)、109-116
- [34] US National Library of Medicine - Endopeptidases MeSH Descriptor Data 2017 (<https://meshb.nlm.nih.gov/record/ui?name=Endopeptidases>)
- [35] MEROPS - the Peptidase Database (<https://www.ebi.ac.uk/merops/>)
- [36] 小宮山眞監修(2010):「酵素利用技術体系ー基礎・解析から改変・高機能化・産業利用まで」、エヌ・ティー・エス
- [37] 清水 昌監修(2013):「食品用酵素データ集ー取り扱い手法と実践」、シーエムシー出版
- [38] 月刊フードケミカル編集部(2015):食品加工用酵素製品一覧、月刊フードケミカル、31(12)、100-114
- [39] 食品と開発編集部(2017):食品加工用酵素の市場動向、食品と開発、52(2)、60-67