

IDF ホームページ / <https://www.fil-idf.org/publications/ファクトシートより>

IDF Factsheet 010/2019-12

IDF ファクトシート 2019年12月

## 乳糖：その技術的側面と利用

### 乳糖の物理化学性質

乳糖（4-O-(β-ガラクトピラノシル-D-グルコピラノース)）は、単糖であるグルコースとガラクトースがβ-1,4 結合した二糖類である。乳糖は哺乳類の乳中に存在し、炭水化物の主たる部分を占め、「ミルクシュガー」と呼ばれることもある（図1）。動物乳中の平均的含量は2-8%であり、牛乳には平均4.5%、ヒトの乳には平均7%の乳糖が含まれている。乳糖は2つの分子形態（αとβ）で存在し、中性pHおよび室温（20-25℃）の水溶液中では約37%のα乳糖と63%のβ乳糖の割合となる平衡状態に達するまで、変旋光と呼ばれるプロセスによりα-形態とβ-形態が入れ替わる。乳糖の溶解度は、他の二糖類（例えばショ糖）と比較して低く、甘味はショ糖の約3分の1である。乳糖はβガラクトシダーゼ（ラクターゼ）という酵素の働きにより、構成している単糖類（グルコースおよびガラクトース）に加水分解される。



図1：牛乳から単離された典型的な乳糖結晶

### 乳糖の消化、吸収不良、乳糖不耐症

人での乳糖の消化は個人の年齢によっても変化する。

健康な乳児は母乳の成分でもある乳糖を消化できる。しかし、世界中の子供たちの大半で、離乳食を始めた後、ラクターゼの合成が遺伝的プログラムにより減少することがある。この減少は、一次ラクターゼ欠乏症またはラクターゼ活性非持続症と呼ばれている。この欠乏症の例外は伝統的に牛の家畜化を实践してきた集団の子孫（北欧など）であり、彼らはラクターゼを合成し続けているため成人になっても牛乳やその他の乳製品を消化する能力を維持している（ラクターゼ活性持続症）。



IDF ホームページ / <https://www.fil-idf.org/publications/ファクトシートより>

ラクターゼ活性持続症者においては、乳糖は加水分解され、その成分である単糖類は小腸で消化される。ラクターゼ活性非持続症者では、ある程度のラクトースが吸収できずに結腸に放出され、腸内微生物によって発酵される。

吸収されなかった乳糖の結腸への放出は、通常はほとんど症状として現れないが、一部では微生物発酵による鼓腸、浸透圧性下痢、または腸のけいれんのような胃腸症状が生じることがある。これらの症状を総称して乳糖不耐症と呼んでいる。

一般的に、乳糖不耐症者が 1 日 15g を超えて乳糖を摂取した場合、症状が出る可能性があるとしてされている。

乳糖吸収不良となる者のほとんどは臨床的な乳糖不耐症ではないことに注意することが重要である。大腸内の未消化の乳糖はまた腸内微生物の食物源として作用し、プレバイオティック作用を有するオリゴ糖のように、有益な微生物の成長および活性を刺激することができる。

乳糖の消化、吸収不良および不耐性の複雑さは、乳製品、乳成分およびその他の食品における乳糖含有量の重要性を示しており、そのような製品/成分から乳糖を削減および/または排除するためのさまざまなアプローチを強調している。

### 乳製品や乳原料を含む食品中の乳糖含量

乳製品や乳原料の乳糖含量は製造工程に依存する。代表的な乳製品や乳原料、乳成分を含む食品の平均的な乳糖含量を表 1 に示す。

表 1：代表的な乳製品や乳原料、乳成分を含む食品の平均的な乳糖含量

製品/乳原料	乳糖 (% w/w)
牛乳 (全脂)	4.5
人乳	7
ヨーグルト	3.2-4
熟成チーズ (チェダー、ゴータ等)	0-0.1
フェタチーズ	0.5
バター	0.1-1
サワークリーム	3
ミルクチョコレート	2-9
脱脂粉乳	~50



IDF ホームページ / <https://www.fil-idf.org/publications/ファクトシートより>

ホエイパウダー	~73
---------	-----

乳製品の乳糖含有量を減らすには、クリーミング、発酵、ホエイの除去、加水分解などの方法がある。加水分解では、乳糖フリー（通常 0.1%未満の乳糖 w/w）または無乳糖（通常 0.01%未満の乳糖 w/w）とみなされる製品や乳原料を作ることができる。

### クリーミング

乳糖は牛乳の水相部分に濃縮される。したがって、（発酵）クリームやバターは、脂肪含有量の増加に比例して乳糖含有量が減少する。例えば、バターの乳糖含量は 1%未満である。さらに、脂肪を含む発酵乳製品では、乳酸菌の作用によって乳糖含量が減少しているものもある。

### 発酵

発酵乳製品（例えば、ヨーグルト、ケフィア、バターミルク）を得るために牛乳を発酵させると、乳糖を消費する発酵微生物の作用により、乳糖含量が 10~40%減少する。対照的に、ヨーグルトへの脱脂粉乳添加で乳糖含量が増加する。乳製品の発酵に使用される微生物はβガラクトシダーゼを産生し、この酵素はヨーグルトを摂取した後も活性を維持し、腸内にラクターゼ活性がない場合でも乳糖の消化をある程度補助する。そのため、ヨーグルトは乳糖不耐症の人にとって、より耐性のある乳糖含有乳製品と言える。しかし、保存期間を延ばすために高熱処理を施したヨーグルトではβガラクトシダーゼが不活化している可能性があり、非あるいは低加熱処理品と比較して乳糖不耐症の人にとっての耐性が低い可能性があることに注意が必要である。

### チーズ製造とホエイの除去

チーズ製造時には、牛乳に含まれる乳糖のほとんどがホエイと一緒に除去され、発酵によりさらに乳糖が減少する。カッターチーズ、クワルク、ギリシャヨーグルトなどのフレッシュチーズでは乳清の除去が不完全であり、最終製品中の乳糖含量は1~3%となる。カマンベールチーズ、ゴーダチーズ、マイルドチェダーチーズなどのソフトチーズや一部のハードチーズでは、微生物の代謝により、（短い）熟成期間中に乳糖含量がさらに減少し、最終製品中の乳糖含量は通常 2%未満となる。ほとんどのハードチーズでは、ホエイの除去がより完全に行われるため未熟成のハードチーズの乳糖含量は通常 1%未満となる。

残存した乳糖（およびガラクトース）は、熟成中に微生物の代謝によってさらに除去される。チーズにもよるが、1~12ヶ月の熟成期間で乳糖（およびガラクトース）濃度は 0.1%未満になり、これらのチーズは乳糖フリーとみなされる。

### 乳成分を含む食品

食品製造においては牛乳または乳製品原料を使用することで乳糖を添加することができる。一般的な例としては、焼き菓子、朝食用シリアル、スープ、クリームを含む惣菜、ミルクチョコレートなどの菓子類などが挙げられる。乳製品/乳糖の使用量を少なくした非乳製品の乳糖含量は一般的に1%未満である。しかし、ミルクチョコレートは乳固形分を多く使用するので乳糖含量が 9%にも及ぶ。乳糖および/または脱脂粉



# 国際酪農連盟日本国内委員会

Japanese National Committee of International Dairy Federation



IDF ホームページ / <https://www.fil-idf.org/publications/ファクトシートより>

乳は、スターター培養物の標準化に使用され、乾燥条件または冷凍条件下での保存中の生存率を向上させるが、食品発酵におけるスターター培養物の投与（0.1%未満）による最終製品の乳糖含量への影響は微々たるものである。これら微量の乳糖は、発酵プロセスを通じてさらに減少させることができる。

## 医薬品

乳糖は医薬品の標準化や輸送（ドラッグデリバリー）用途で広く使用されている。医薬品グレードの乳糖は、低価格であること、乳糖一水和物または無水物として純粋な形態で入手可能であること、吸湿性や圧縮性などの適切な物理的特性を有することから、しばしば医薬品製剤やドラッグデリバリーのための賦形剤として選択される。医薬品からの乳糖摂取量は、一般的に、乳糖不耐症者に症状を引き起こす可能性のあるレベル（～15 g/日）をはるかに下回っている。

## 乳糖加水分解による乳糖フリー乳製品の製造

乳糖フリー又は無乳糖乳製品の工業的生産は、可溶性β-ガラクトシダーゼの添加、固定化ラクターゼによるラクトース加水分解、あるいはクロマトグラフィーによる他の乳成分からの分離によって達成される。このような処理の後、製品の「乳糖の状態」は法制度によってかなり異なり、0.1%未満の乳糖（多くで乳糖フリーと見なされる）、0.01%未満の乳糖（多くで無乳糖と見なされる）から検出限界として乳糖ゼロまでの範囲がある。可溶性または固定化された酵素を用いた乳糖の加水分解は、グルコースとガラクトースの複合甘味度が乳糖と比較して3～4倍高いため、製品の甘味度を増加させる。乳糖の加水分解と、膜またはクロマトグラフィー技術による除去とを組み合わせることにより、通常の牛乳に匹敵する甘味を有する乳糖フリーの牛乳を製造することができる。

## 原料用乳糖の製造

乳製品業界で年間数百万トンの乳糖が製造されており、主に製薬業界での錠剤やカプセルの賦形剤として、また、ヒトの母乳には牛乳よりも約60%多くの乳糖が含まれているため乳児用調製乳（インファントフォーミュラ）製造時の主な炭水化物源として使用されている。

チーズ製造やその他乳製品の製造時に集めたホエイからいろいろなタンパク質を分離した後、タンパク質を除去されたホエイパーミエイトは多重効用濃縮機にて固形分60～65%に濃縮される。パーミエイトは濃縮前に任意で逆浸透および/またはナノろ過を使用して、予備濃縮および/または脱ミネラルすることができる。乳糖の結晶化は濃縮されたパーミエイトの冷却時に起こり、結晶はデカンテーションまたは遠心分離によって単離される。単離後、湿った結晶（～10%の水分）は、フラッシュドライヤーまたは流動床の乾燥機を使用して乾燥される。

この食品グレードの乳糖は、医薬品の賦形剤のようなより要求の厳しい用途のために、再結晶化または様々なクロマトグラフィー技術（例えば、イオン除去クロマトグラフィー）によってさらに精製することができる。



国際酪農連盟日本国内委員会

Japanese National Committee of International Dairy Federation



I D F ホームページ／<https://www.fil-idf.org/publications/ファクトシートより>

## References

1. Belitz, H.D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009) Food Chemistry, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
2. Gänzle, M.G., Haase, G., & Jelen, P. (2008) Lactose - Crystallisation, hydrolysis and value-added derivatives. Int. Dairy J. 18, 685-694.
3. Gille, D., Walther, B., Badertscher, R., Bosshart, A., Brügger, C., Brühlhart, M., Gauch, R., Noth, P., Vergères, G., & Egger, L. (2018) Detection of lactose in products with low lactose content. Int. Dairy J. 83, 17-19.
4. Harju, M., Kallioinen, H., & Tossavainen, O. (2012) Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products. Int. Dairy J. 22, 104-109.
5. Hourigan, J.A., Lifran, E.V., Vu, L.T.T., Listiohadi, Y., & Sleight, R.W. (2013) Lactose: Chemistry, processing, and utilization in Advances in Dairy Ingredients (Augustin, M.A., & Smithers, G.W., eds.) pp. 31-70, Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.
6. Kolars, J.C., Levitt, M.D., Aouji, M., & Savaiano, D.A. (1984) Yogurt – An autodigesting source of lactose. N. Engl. J. Med. 310, 1-3.
7. Oku, T., & Nakamura, S. (2002) Digestion, absorption, fermentation, and metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. Pure Appl. Chem. 74, 1253-1261.
8. Swallow, D.M. (2003) Genetics of lactase persistence and lactose intolerance. Annu. Rev. Genet. 37, 197-219.

翻訳： J I D F 製造技術専門部会（西田 徳親 書記）

編者注：仮訳の正確性、完全性、有用性等についてはいかなる保証をするものではありません。参考資料として扱い、内容に疑義が生じた場合は英文の原文をご確認ください。