TOPICS 2

トピックス…②

# 近年における精密発酵技術の動向

精密発酵とは、特定の遺伝子を挿入した微生物の発酵を利用して、タンパク質、脂質、香料、甘味料、機能成分等を生成する技術である。近年、精密発酵を利用した技術革新が注目されている。製薬産業ではバイオ医薬品の生産、石油産業及びディーゼル産業では燃料の生産等にも利用されている。中でも食品産業での研究開発が目覚しく、乳製品の主要な生産及び輸出国では積極的に展開されており、輸入国であるわが国においても未来の食料生産技術として見過ごすことのできない動向である。

## 1．研究開発の背景

農林水産省が公表している「2050年における世界の食料需給見通し」によると、2050年までに世界の食料需要量は2010年比で1.7倍（58.17億トン）に増加、特に畜産物の需要量は1.8倍（13.98億トン）に増加、中でも乳製品の需要量は、1.9倍（10.18億トン）と予測されており、世界の需給状況や生産見通しを注視する必要性が高まっている。

また、現行の農業、特に畜産業は、膨大なエネルギー・土地・水を利用しており、温室効果ガスの主要な排出源にもなっている。このような背景の下、世界中で低環境負荷の新しい食料生産技術による食料増産が求められており、これを実現する技術として精密発酵（Precision Fermentation）が注目を集めている。

酪農における生乳生産は、水の使用量、エネルギー使用量、温室効果ガスの排出量が膨大なことが問題となっている。（米）Perfect Day社は、遺伝子改変をした糸状菌を用いた乳ホエイタンパク（β-ラクトグロブリン）を開発し、元子会社の（米）The Urgent Companyや大手食品会社との協力により多数のアニマルフリー乳製品（ミルク、クリームチーズ、アイスクリーム等）を販売している（図表１参照）。同社の調査結果によると、このホエイタンパクを用いると、従来の生乳生産と比較して、水の使用量を96～99%、エネルギー需要量を29～60%、温室効果ガスの排出量を最大97%削減することが出来るという。精密発酵は、欧米を中心に、主にヴィーガン向け食品での活用が進んでいるが、最近では、交付加価値成分の生成を目的とした活用も始まっている。

## 2．精密発酵技術の現状

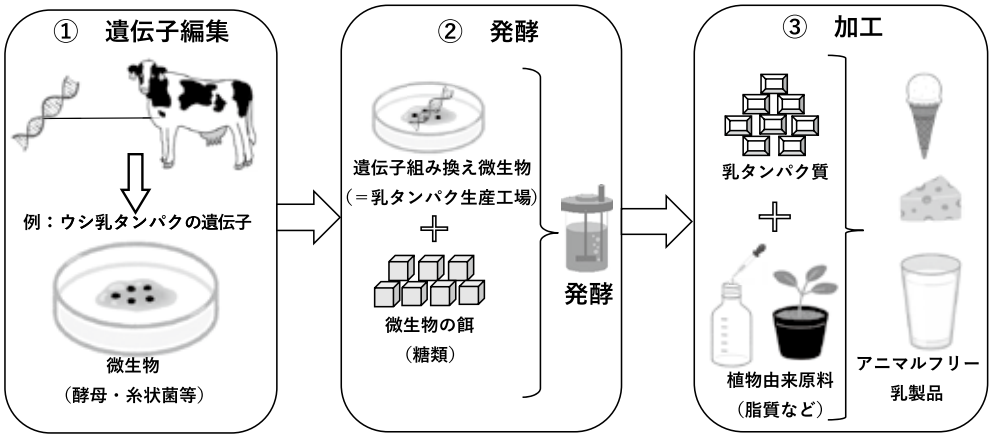
近年においては、豆乳、アーモンドミルク、ライスミルク、ココナッツミルク、オーツミルクなど、植物から採れる代替乳が市場に広く出回るようになっている。この植物性代替乳の増加傾向に加え、現在は不確実性もあるが、精密発酵由来の乳タンパク質の将来性をめぐる話題が酪農業界で注目されている。微生物にタンパク質を製造する工場の役割を代替させる精密発酵は、環境負荷軽減や安定供給に優れた次世代の代替タンパク質技術と言われている。

数多くある精密発酵技術の成果として、最も実用化に向けた取組が多いのは乳製品部門で、乳タンパク質と総称されるホエイやカゼインを、酪農業なし（アニマルフリー）で代替的に生産していく動きである。アニマルフリーでの生産領域は、単に市場規模が巨大なだけではなく、現行の酪農業に由来する環境負荷の大きさが問題視されているため、精密発酵技術の応用先の１つとして大きな注目を集めている（図表２参照）。

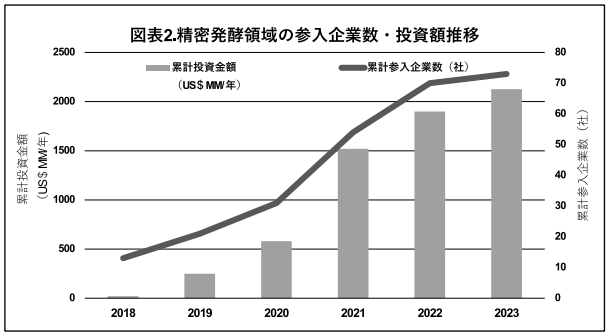
## 3．海外の事例

米国では、精密発酵の応用を事業の柱としている企業のトップと言われているのが先に挙げた（米）Perfect Day社である。2014年に創業した同社は、乳タンパク質のうち、特にホエイの生産に特化した事業を展開している。同社では、いち早く米国内でのGRAS認証（米国食品医薬品局より食品添加物に与えられる安全基準合格証）を取得して、ネスレ、ユニリーバ等の大手食品企業との商品開発を進めている。

**図表1.精密発酵食品の生産プロセス**




出典：三井物産戦略研究所：次世代の食料生産技術「精密発酵」とは - 業界団結で加速する市場開発 -
Change　Foods ウェブサイトより
http://www.changefoods.com/blog/precision-fermentation-and-sustainable-animal-free-dairy




出典：Good Food 'Institute 2022 Fermentation State of the Industry Report'
：Good Food 'Institute 2023 Fermentation State of the Industry Report'
：三井物産戦略研究所:次世代の食料生産技術「精密発酵」とは-業界団結で加速する市場開発-

また、ニュージーランド（NZ）では、代替タンパク質の技術・市場動向に、より注目すべきとの趣旨の意見書が2018年に政府と産業界から発表された。代替タンパク質製造技術の発展により、これまで乳製品の供給を輸入に依存してきた国々（中国、イスラエル、英国、シンガポール等）が、自国生産できるようになる可能性があり、その結果、動物性たんぱく質の輸出に依存してきた国は、特に大きな打撃を受けることが危惧される。ＮＺでは、酪農業への影響（技術・市場・環境等）、つまり代替タンパク質技術の発展による精密発酵由来の乳タンパク質の動向に注意する必要があると複数の専門家が指摘している。

NZの環境保護局は2024年５月15日、急成長する企業のDaisy lab社からの「遺伝子組換え微生物を用いた乳タンパク質生産の拡大に関する申請」を承認した。この承認で、発酵タンク（バイオリアクター）の最大容量を5,000ℓまで拡大することが可能となった。2024年1月時点で、同社は既に10ℓの発酵タンクを利用した精密発酵による乳タンパク質生産に成功していて、また同社が生産した乳タンパク質を使用したアイスクリーム、ヨーグルト、クリームチーズ等の試作品の生産工程の効率化を並行して研究している。今後は精密発酵タンパク質への切り替えを希望する乳業会社を含んだ食品・飲料会社に原料供給することを目指すとしている。

## ４．精密発酵技術の将来性と課題

精密発酵技術の発展について、NZのメディアセンターに寄せられた専門家のコメントでは、伝統的な農業にとっては、リスクになる可能性があるとしつつ、競争ではなく補完的な関係になることが大筋の予測である。

また、今後の市場規模については拡大していくとの予測が大部分である。海外のシンクタンク（Rethink X）は、2030年には牛由来の乳タンパク質の生産コストが精密発酵タンパク質の２～３倍になり、米国の乳製品需要の約9割が精密発酵由来になると予想している。

しかし、事業拡大に際して解決すべき課題も多く存在している。第１に、生産施設の大型化である。価格競争力を高めるためには、大規模な発酵プラントの製造が必須だが、建設には巨大な資金投資が必要であり、資金調達が課題の１つである。この課題に対して、米国では開発製造受託企業（Contract Development and Manufacturing Organization）が課題解決に乗り出し、（米）Liberation Labs社では、米国初の食品用大型発酵プラントを2024年内の稼働を目標に建設することを発表している。

第２に、各国で独自に規制を設けていることが、国家間での市場競争力格差を形成する一因になっている。（米）食品医薬品局（FDA）の審査は比較的寛容である一方、（EU）欧州食品安全機関による審査は厳格で、プロセスも不透明な部分が多く、規制の動向が市場参入の障壁になっている。米国では既に精密発酵食品が先行して複数上市され、EUには焦りもあるようである。

第３に、精密発酵由来の製品に対する消費者の理解が不十分である。そこで、業界団体であるPrecision Fermentation Alliance（PFA：米）、Food Fermentation Europe（FFE：欧州）が発足して、精密発酵由来の製品に対する安全性とバリューチェーンの構築や最適化に対する理解促進や精密発酵技術を用いた食品に対する不透明な規制の再検討を目標として掲げ活動している。

消費者5,054人（ブラジル、ドイツ、インド、イギリス、米国）を対象とした調査（Don't Have a Cow, Man: Consumer Acceptance of Animal-Free Dairy Products in 5 Countries）によると、動物由来ではない乳製品チーズは、各国で消費者の期待を集めている。また、精密発酵由来のチーズの消費者受容性調査では70％以上の消費者に購入する意向があり、「食味が良いこと」が全ての国で、「倫理的に正しい」がドイツ、インド、イギリスで、アニマルフリーのチーズの購入意欲を駆り立てる要因となっている。

その一方で、アニマルフリーの乳製品に関しては、「どのような化学物質や原材料が使用されているのか」、「長期的な副作用の可能性に対する心配」が懸念事項として挙がっている。同時に、アニマルフリーの乳製品全般に対しては、「既製品より安全性が高い」、「食味が良いこと」が期待されている。この期待と不安のギャップを埋めつつ、精密発酵に対する正確な情報を発信することが消費者への理解促進につながると思われる。

## ５．精密発酵技術の今後の展望

今後２年間を目途に、規制が比較的寛容な米国の市場を中心に活動するリーディングカンパニーから、多くのアニマルフリーの乳製品が上市される見通しである。サスティナブルやアニマルウェルフェアの意識が高い欧州においても、規制の見直しの動向次第で、市場形成が加速することも考えられる。

精密発酵技術は、食品産業の「第４次産業革命」における新たな食品トレンドとして、持続可能な牛乳成分の生産を可能とした。一方で、使用される遺伝子組み換え生物（GMO）の商業化により、食品の安全性に関する消費者の懸念が高まっており、客観的な安全性評価の確立やGMOに対する懸念事項を取り除くという課題が残る。わが国は精密発酵食品に対する規制を検討中であるが、乳製品の輸入国であるわが国は、乳製品の主要な生産及び輸出国の動向を引き続き注視していく必要がある。

**【参考文献】**


・ALIC「NZ企業、遺伝子組換え微生物由来の乳タンパク質の製造拡大許可を取得（NZ）」海外情報（2024/05/22）
・ALIC「NZ研究チーム、代替タンパク質市場への進出戦略の策定を提言（NZ）」海外情報（2024/05/08）
・澤野 健史（三井物産戦略研究所技術イノベーション情報部コンシューマーイノベーション室）「次世代の食料生産技術『精密発酵』とは　－業界団体で加速する市場開発－」（2024/02/13）
・佐藤 あゆみ「精密発酵スタートアップ9社が精密発酵組合を設立」Foovo（2023/02/18）
・Oscar Zollman Thomas et al.「Frontiers Don't Have a Cow, Man: Consumer Acceptance of Animal-Free Dairy Products in 5 Countries」（2021/6/24）