

連続発酵技術

—精密発酵の市場開発の鍵を握る革新技術に迫る—

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部

執筆：コンシューマーイノベーション室 澤野 健史

知財分析：知的財産室 石黒 隆介

Biz Tech フォーカス 2025

なぜこの技術を取り上げるのか

気候変動が深刻化する中、生物学的プロセスや生体由来の資源を活用し、エネルギー、化学品、医薬品、食品などの生産を行うバイオものづくりが世界的に推進されている。食品分野では特定の遺伝子を導入した微生物を利用して動物性タンパク質などを生産する「精密発酵」が注目を集めているが、最終製品の価格を左右するスケールアップと大量生産が市場開発のボトルネックになっている。スケールアップによらずとも、低コスト生産を実現する連続発酵技術の社会実装が精密発酵市場形成を加速させる可能性が高まっている。

Summary

- 連続発酵は最適化された発酵反応を長時間持続させる技術で、従来のバッチ発酵やフェドバッチ発酵に比べ、生産効率とコスト削減の点で優位性がある。汚染・安定稼働の面で課題を有しているが、スタートアップがこれらの課題解決に向けた技術開発を進めている。連続発酵技術の社会実装は、低コストで競争力のある精密発酵食品の流通を可能にし、市場形成を加速させると見込む。

1. 連続発酵とは

発酵リアクターに基質や培地を絶えず供給し、発酵産物の分離を連続的に行う生産方法である。リアクター内の環境（温度・pH・酸素濃度）や基質濃度、細胞密度などの各種データを基に、発酵条件のリアルタイム制御を行うことで、最適化された発酵反応を長時間持続することができる。

連続発酵生産と従来の発酵生産の違いについて整理した（図表1）。バッチ発酵生産は、微生物、基質、培地を一度に混合し、一定条件下で発酵させた後、まとめて発酵産物を分離する生産方法である。また発酵プロセスの途中で基質や新しい培地を追加して発酵反応を延長し、バッチ発酵よりも多くの発酵産物が得られるフェドバッチ発酵も活用されている。これらの生産方法では、次の生産に移行する際に洗浄と仕込みの時間（ダウンタイム）が必ず発生する。したがって生産コストを下げるためには、一度に大量生産することが求められるが、発酵条件のスケールアップと大型の発酵リアクターが必要になる。一方で連続発酵では、発酵反応を長時間持続させ、発酵産物を連続的に分離することで発酵リアクターの最大容量以上の発酵産物を得ることができるため、通常小型の発酵リアクターに適応される。これによりスケールアップが不要で、小型の発酵リアクターでも低コスト生産が可能になる。

優れた生産効率を実現する連続発酵にも課題は存在する。発酵プロセスが長時間にわたることに加え、生産に使用する微生物は培養液から分離し、循環させて再利用するため、微生物の変異による生産性の低下や発酵リアクターの汚染（コンタミネーション）のリスクが高まる。さらに現在の生産システムから連

連続発酵生産に移行する際に生じる時間とコストも課題として挙げられる。

図表1：従来の生産方法（バッチ発酵・フェドバッチ発酵）と連続発酵

	バッチ発酵	フェドバッチ発酵	連続発酵
基質・培地の添加	すべて一度に添加	培養中に追加	連続的に添加
成長段階	全段階を経る	指数期 [*] を延長	指数期 [*] を維持
生産性	低い	中程度	高い
リアクターサイズ	大型	中～大型	小型
汚染リスク	低い	中程度	高い
柔軟性	高い	中程度	低い
スケールアップの 必要性	あり	あり	なし/少ない
導入時の課題	既存の生産システムで対応可	既存の生産システムで対応可	生産システムの移行時に 時間とコストを要する

^{*}微生物が最も活発に増殖し、数が急激に増える時期

出所：三井物産戦略研究所作成

2. 注目すべき動向

連続発酵の課題解決に乗り出すスタートアップが近年注目を集め始めている（図表2）。（米）Pow.Bioは、連続発酵における微生物の変異と汚染の問題を解決するため、微生物の成長プロセスと発酵プロセスで用いる反応リアクターを分離するデュアルチャンバーシステムを採用、AIによる高度なプロセス制御を組み合わせた連続発酵システムを開発している。ターゲット成分の発酵生産を行うリアクターでは、栄養素の乏しい培地を用いることで生産に用いる微生物以外の増殖を防ぎ、汚染のリスクを低減する。同社は30Lと300Lの発酵リアクターを用いて実証実験を進め、酵母を用いた食品タンパクの発酵生産において収量を従来比2.5倍、生産コストを約40%削減したと公表している^{1, 2}。また（デンマーク）Enduro Geneticsは、微生物の変異の問題を解決するため、独自の遺伝子改変技術「Enduro Sense」を用いて、連続発酵プロセスを通して高い生産性を維持できる微生物株の開発を行っている。このアプローチにより発酵プロセスの生産性の向上と長期間の安定生産が可能になるとしている³。また（オランダ）DAB.bioは、発酵リアクターから生成物を選択的かつ連続的に抽出する技術を有しており、現在の生産システムからシームレスに連続生産に移行させる連続発酵ユニットの開発を行っている。同社は本技術を用いたプロセス開発支援サービスを提

¹ Pow.Bio | Continuous Fermentation for Biomanufacturing

² Pow.bio raises \$9.5m to expand continuous fermentation platform | AgFunderNews

³ Enduro Genetics: We can transform economics of biomanufacturing

供しており、設備投資と運用コストを最大70%削減し、稼働後の生産コストを半減できるとしている^{4, 5}。

図表2：連続発酵の技術開発に取り組む注目のスタートアップ企業

企業名	本社拠点	解決が見込まれる課題	概要	注目の動向
Pow.bio	米国	微生物の変異 コンタミネーション	デュアルチャンバーシステムを用いた連続発酵技術と高度な発酵条件制御を組み合わせ、発酵生産システムの構築支援サービスを展開。	2023年10月、シリーズA（950万ドル）の資金調達を完了。1,000Lの発酵槽を備える実証施設の構築を目指す。2024年3月、（米）MeliBioと提携し、AIを活用した精密発酵ハチミツの製品化に向けた取り組みを開始。
Enduro Genetics	デンマーク	微生物の変異	独自の遺伝子改変技術「Enduro Sense」を用いて、菌株の設計サービスを展開。長期間の発酵プロセスでも高い生産性を維持できる菌株を作出。	2022年1月、米国エネルギー省バイオエネルギー技術局から資金提供を受けるAgile BioFoundryに参画。複数の米国国立研究所と連携し、技術のスケラビリティを実証中。
DAB.bio	オランダ	生産システムの移行	発酵槽から生成物を選択的かつ連続的に抽出する技術を有し、現在の生産システムからシームレスに連続生産に移行させる連続発酵ユニットを開発。	2024年5月、（米）Ginkgo Bioworksが発足したエコシステム（Ginkgo Technology Network）に参画し、パートナー企業の研究開発を推進する取り組みを開始。
Cauldron	オーストラリア	生産システムの移行	独自の連続発酵技術を駆使し、少ない設備投資でのコスト削減を実現。	2024年10月、クイーンズランド州政府から資金援助で「Cauldron Bio-fab」を建設することを発表。年間1,000トン以上の生産能力を持ち、食品や飼料、化学製品など多様な製品を製造予定。米国のバイオものづくり支援金の採択も受けている。

出所：三井物産戦略研究所作成

3. 今後の展望

このように連続発酵技術の課題解決が進み始めている。他方、本技術の活用先として有望な精密発酵の 카테고리において、米国における食品添加物の安全性認証であるGRAS（Generally Recognized As Safe）認証や自主GRAS認証⁶を取得する企業が増加している（図表3）。

例えば、2023年11月に（シンガポール）TurtleTreeは、精密発酵由来のラクトフェリンの自主GRAS認証を世界で初めて取得したことを発表した⁷。また2024年2月（米）New Cultureは、精密発酵由来の乳カゼインタンパクの自主GRAS認証を世界で初めて取得したことを発表している⁸。これらの企業が精密発酵食品の市場開発を推進していくためには、従来品に対して競争力のある価格を実現する必要がある。ほとんど全ての発酵生産設備において、従来の発酵方法が採用されており、生産コストを下げるためには、大型の発酵リアクターで大量生産することが求められる。しかしそもそもアクセス可能な大型の発酵リアクターの数が少なく、新たに大型の発酵リアクターを建設するには莫大な投資が必要となるため、市場開発の最大のボトルネックとなっている。このような状況下、連続発酵技術のニーズは自ずと増加するものと見込む。連続発酵技術の社会実装が実現すれば、スケールアップが不要かつ小型設備での低コスト生産が実現し、大きく市場形成が進む可能性があり、今後の動向に注目すべきであろう。

⁴ [DAB.bio :: Lux Research](#)

⁵ [DAB | DAB.bio's FAST Reduces Biomanufacturing Costs by 50%](#)

⁶ 企業が自社製品の安全性について、専門家パネルによる評価を行い、宣言する。通常、自主GRAS認証取得後、FDAに通知を行い、「異議なし」の回答を目指すことが多い。

⁷ [TurtleTree obtains the world's first self-GRAS for animal-free lactoferrin, LF+™ now approved to commercialize in the U.S.](#)

⁸ [New Culture | "GRAS" for New Culture Animal-free Casein](#)

図表3：精密発酵成分の米国GRAS認証を取得するスタートアップ企業

企業名	本社拠点	精密発酵で生産している成分	アプリケーション事例	GRAS認証取得年月	販売状況
Impossible Foods	米国	大豆レグヘモグロビン	植物代替肉	2018年7月	上市済
Perfect Day	米国	乳ホエイ (βラクトグロブリン)	乳製品	2020年3月	上市済
		甘味タンパク (ブラゼイン)	菓子類	認証待ち	-
Remilk	イスラエル	乳ホエイ (βラクトグロブリン)	乳製品	2022年6月	上市済
Sweegen	米国	甘味タンパク (ブラゼイン)	菓子類	2023年5月	上市済
Imagindairy	イスラエル	乳ホエイ	乳製品	2023年8月 (自主GRAS)	発売準備中
The Every Company	米国	卵白タンパク	製パン・菓子類	2023年10月	上市済
TurtleTree	シンガポール	ラクトフェリン	機能性食品 サプリメント	2023年11月 (自主GRAS)	発売準備中
New Culture	米国	カゼイン	チーズ	2024年2月 (自主GRAS)	発売準備中
Vivici	オランダ	乳ホエイ (βラクトグロブリン)	乳製品	2024年2月 (自主GRAS)	発売準備中
Oobli	米国	甘味タンパク (ブラゼイン)	菓子類	2024年3月	JALの機内食で限定提供
		甘味タンパク (モノリン)	菓子類	2024年12月	-
21st.BIO	デンマーク	乳ホエイ (βラクトグロブリン)	乳製品	2024年9月 (自主GRAS)	-
Fermify	オーストリア	カゼイン	チーズ	2024年10月 (自主GRAS)	-
Onego Bio	フィンランド	卵白タンパク	製パン・菓子類	届出予定	-

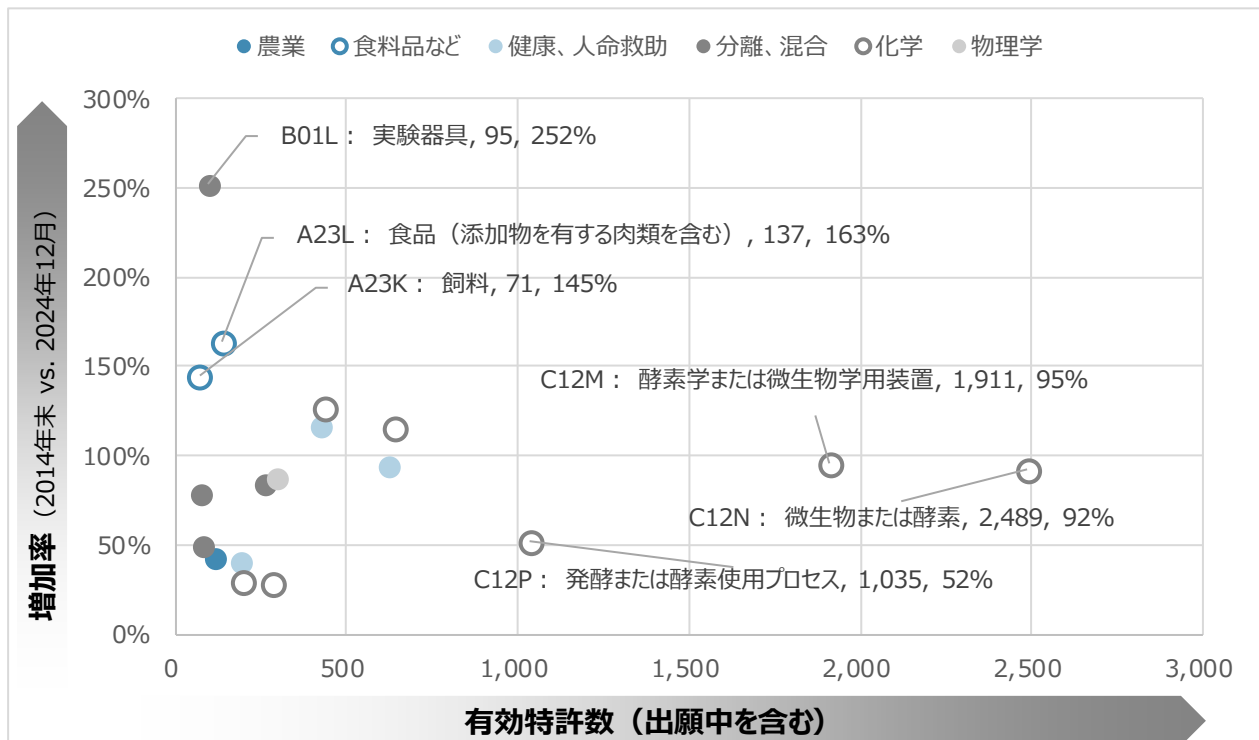
出所：三井物産戦略研究所作成

連続発酵技術に関する知財分析

本技術に関連性の高い「マルチチャンバー」、「連続発酵」などのキーワードや、微生物、酵素、発酵などに関連する技術分類コード（IPC）を特定（2024年12月時点で出願中を含む有効特許数⁹は3,371件）し、技術分類別、上位プレイヤー別の分析を行った。

図表4は、技術分類別に有効特許数とその増加率比較した結果で、横軸が有効特許数、縦軸が2024年12月時点と2014年末時点での有効特許数を比較した増加率を表している。その結果から、微生物、酵素、発酵の関連技術を中心に注目が強まっており、近年は食品や飼料への応用も盛んになっていることが明らかとなった。また、近年とくに伸びが大きい食品のなかでは、添加物を有する肉類の特許数の伸びが目立っている。

図表4：有効特許数、増加率（技術分類別）

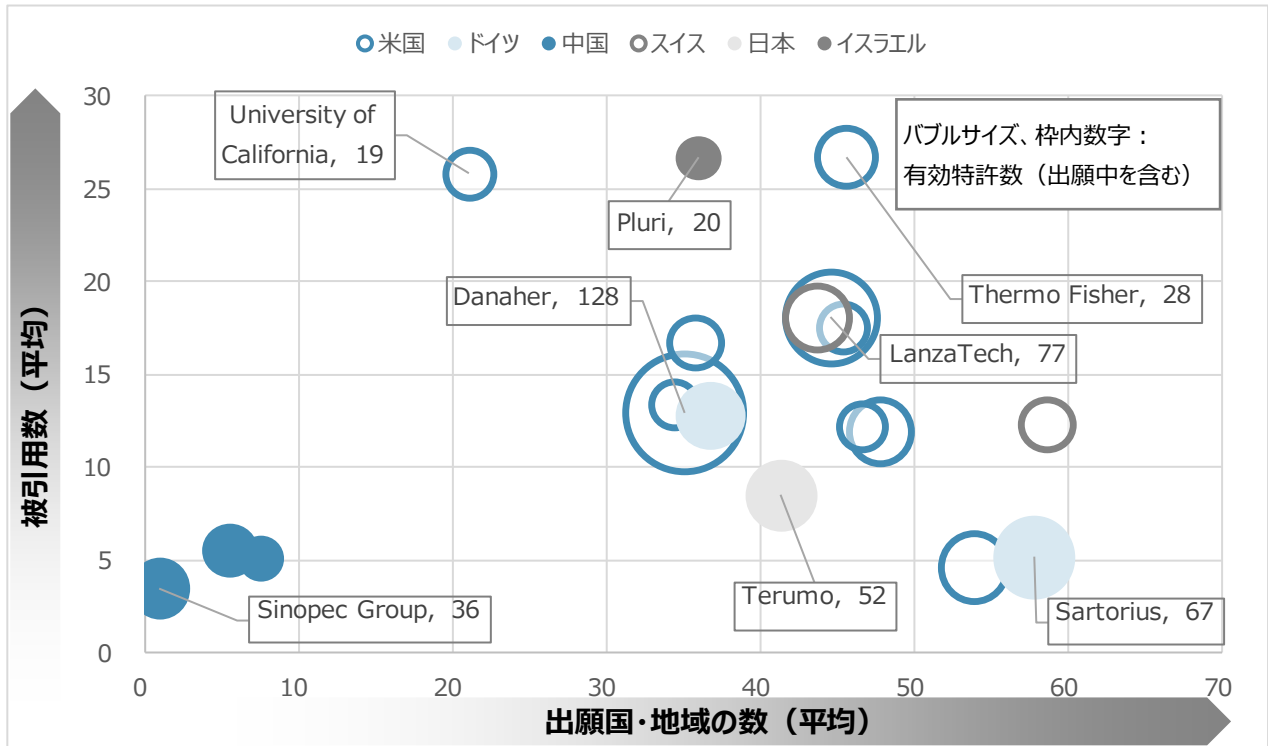


出所：LexisNexis PatentSightのデータから三井物産戦略研究所作成

図表5は、連続発酵関連の特許数における上位プレイヤーを比較した結果で、バブルサイズが有効特許数、横軸が出願国や地域の数の平均値、縦軸が技術影響度の大きさを示す被引用数の平均値を表している。この結果から、（米）Danaher、（米）LanzaTechなどの米国企業が目立ち、医療、化学といった複数業界の主要企業が上位を占めることがわかる。

⁹ 出願された特許、および審査を経て特許権としての権利行使が可能な状態にある特許の総数。

図表5：有効特許数、出願国・地域数、被引用数（上位プレイヤー別）



出所：LexisNexis PatentSightのデータから三井物産戦略研究所作成

澤野 健史 Sawano Takeshi / プロジェクトマネージャー

専門分野：食と農、機能性食品、次世代タンパク質、食のバリューチェーン

石黒 隆介 Ishiguro Ryusuke / シニアマネージャー

専門分野：知的財産権、知財コンサルティング

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。