

フードテックと食品科学研究

— 食肉の噛み応えの演出

大西正展 (三栄源エフ・エフ・アイ株式会社 事業本部事業戦略部 専任次長)

出口 茂 (国立研究開発法人海洋研究開発機構 生命理工学センター長)

Food Science Research Activities in Food Tech Business : Texturization of Plant Proteins for Meat Analogues

Masanobu Onishi

Deputy General Manager, Business Division, San-Ei Gen F.F.I. Co., Ltd.

Shigeru Deguchi

Director, Research Center for Bioscience and Nanoscience, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

【要旨】 代替肉はフードテックで最も成功しているビジネスである。代替肉に消費者を満足させるホンモノらしさを与えるうえでは、味、香り、見た目などの要素に加えて、噛み応えが極めて重要である。現在市場に流通している代替肉の噛み応えは、素材となる植物タンパクをエクストルーダーと呼ばれる装置で処理し、異方性構造を作り込むことで再現されている。この動物性肉を植物性タンパクで置き換えることを目指した植物タンパクの組織化技術には、30年以上にわたる長い研究の歴史がある。植物タンパクのハンバーガーという最先端のフードテックも、食品科学工学分野での長年の基礎研究成果に支えられて成長しているのである。

【キーワード】 代替肉 植物由来 タンパク質 組織化 エクストルーダー

【Abstract】 Alternative meat product is one of the most successful areas among Food Tech business. Chewy and bouncy texture is essential for making alternative meat products genuine one and giving satisfaction to customers' senses. To give this unique character, anisotropic structure is introduced into the plant-based protein by treating this material with an extruder. Texturization of the plant protein for replacing animal meat has been intensively investigated for more than 30 years in the research field of the food science and technology. The cutting-edge technology used for plant-based burger is backed by years of basic research findings in this field.

【Keywords】 Alternative Meat Plant-Based Protein Texturization Extruder

1. はじめに

食とIT技術が融合したフードテックのなかで、代替肉は多くのスタートアップが参戦するホットな分野である。植物性由来の代替肉は、世界的な人口増加を背景とした食糧問題、動物愛護や工業的畜産業に対する批判的な意見、健康意識の高まり、などに対する解決策の一つとして登場した。2019年5

月にビヨンド・ミートが米国ナスダック市場に上場した頃からは、いわゆる意識高い系だけでなく一般消費者にも支持を拡大して普及が進み、米国における植物性代替食品の販売金額は、2018年の48億ドルから2021年には74億ドルと3年間で1.5倍強に拡大している (Good Food Institute (2021))。

代替肉バーガーなどが米国でブームになったのは、味や香り、肉汁のジューシーさ、見た目や噛み応えなどが満足できるレベルだったことも大きな要

因である。このうち噛み応えは、食肉の筋肉繊維などを噛み切るときの抵抗感であり、この食感の再現のために代替タンパクに加工を施して「組織化」している。タンパク質の組織化は1990年頃に研究の進んだ食品科学工学のテーマで、近年の代替肉製品には当時の研究成果が活用されているのである。

そこで本報では代替肉の成功を支えているフードテック技術の一つとしてタンパク質の組織化にフォーカスし、過去の食品科学工学研究の知見や近年の進展についてご紹介する。

2. タンパク質の組織化についての研究概要

2.1. タンパク質の組織化手法

タンパク質の組織化、とは食品のなかに網目構造や、粘弾性や硬さの違う組織をつくることであり、これを一定方向に配列するなどして筋肉に似た不均一さを出す工夫が必要となる。タンパク質の組織化手法としては以下のような様式が知られている；

① エクストルージョン (extrusion) (土井 (1985))

植物タンパクをエクストルーダーという加工装置で処理することにより、タンパク質の変性や溶融、スクリューによるせん断を経て吐出部で冷却することにより方向性をもった組織構造を形成する。

② 湿式紡糸 (wet spinning) (長嶺・西堀・中川・小林 (2021))

アルギン酸のカルシウムイオン架橋による組織化を利用した方法で、アルギン酸塩を含むタンパク質溶液をカルシウム溶液に注入することにより、表面に溶解性の低い皮膜を形成してひも状構造をつくる。

③ 電気紡糸 (electrospinning) (Zhong, Mohan, Bell, Teryy, Mitchell and Davis (2018))

タンパク質を含む溶液に高電圧を印加して極細の繊維を吹き付ける。条件の調整は複雑だが不織布の生産にも利用される手法。

④ 凍結による組織化 (freeze structuring) (小林・Chantanuson・奥山・西堀・赤木・廣塚・長嶺・高村・萬成—笹川・中川 (2022))

凍結したアルギン酸塩を含むタンパク質溶液をカ

ルシウムイオンで構造を固定した後に、水部分を溶け出させて多孔質構造を得る方法。

⑤ シアーセル (shear cell) (Berghout (2022))

二つの相似形の容器を重ね合わせて一方の容器を回転させることにより、挟まれた空間を満たす液状成分にせん断を加える装置。ワーゲニンゲン大学 (Wageningen University) で開発された装置で組織化原理はエクストルーダーに近い。

ビヨンド・ミートなど、ほとんどの代替肉は現状、エクストルージョンにより組織化した植物タンパクを用いている。そこで、次項ではエクストルーダーを用いたタンパク質の組織化について、食品科学工学分野における研究を振り返り、近年の技術進化をまとめたい。

2.2. エクストルーダーによる組織化の研究

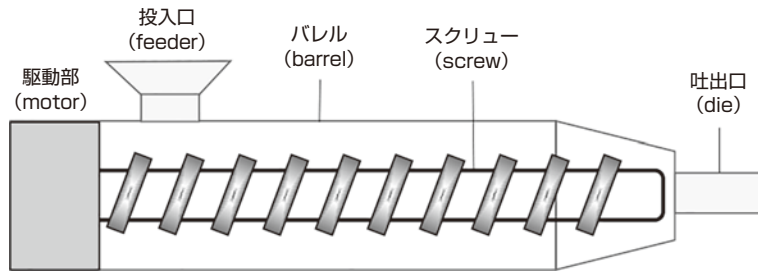
エクストルーダーはバレル (barrel) と呼ぶ筒状構造のなかにスクリュー軸を内包した加工装置で、スクリュー回転により内容物を混練しながら前方に搬送してダイ (die) と呼ぶ吐出部から生成物を押し出す仕組みである。水分含量の低い内容物に他の粉末原料を混ぜる操作に適しており、ペットフードなどの製造に使用されていた。

図1のようにスクリューが1本の1軸式の場合、固定されたバレル内壁にサンプルを押し付けながら搬送することからスクリューへの負荷が大きく、摩擦熱の発生により内部温度のコントロールが難しいため、タンパク質の組織化にはスクリューが2本の2軸式が一般的に用いられる。

エクストルーダーは1台で粉碎、混合、せん断、溶融、加圧、加熱などをこなす多機能の加工装置で広く食品分野で検討され、日本でも1984年に農林水産省の呼びかけで「食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合」が設立された。この研究組合には食品加工機械メーカー5社と食品メーカー21社が参加して3か年計画で集中的に研究を行い大豆の組織化タンパクの製造法が大きく進展した。(土井 (1985))

1990年前後の様々な検討の結果、大豆タンパクの組織化には140℃以上の温度が必要であること、ゲル化した大豆タンパクが吐出部のダイで冷却され

図 1 エクストルーダーの基本構造 (1 軸式)



ている間に組織化が進むこと、などが明らかとなった。これらの結果から、大豆タンパクの組織化メカニズムとしては、バレル内の加熱により変性、溶解し、ゲル化した大豆タンパクがダイで冷却される過程で球状構造が連なって数珠状をなした繊維構造が方向性をもって形成されるものと考えられている。大豆タンパクのゲルがこのような数珠玉 (string of beads) モデルと呼ばれる構造をとるのは、タンパク質成分としてグリシニンを多く含むためである (土井 (1992))。

以上のように筋肉の組織構造から感じている噛み応えを、植物タンパクという物質の構造化により再現するために、エクストルーダーという加工装置と食品科学工学研究がタッグを組んだ高度な技が代替肉には使われているのである。

2.3. タンパク質の組織化についての最近の研究動向

タンパク質の組織化でエクストルーダーに代わる新タイプの装置はまだ出ていないようだが、引き続き多くの研究が報告されている。

最近公開された特許では、3 本以上のスクリー軸をもつエクストルーダーで加工することにより、原料組成中の油脂含量を増やして肉汁の多いジューシー感を強く感じることでできる代替肉を調製する方法 (橋本・服部 (2021))、ダイにおける冷却方法を工夫することにより膨化による裂け目を組織の一部に生じさせて食肉のほぐれ感などを演出する方法 (齋・山口・森田 (2022))、など、装置や反応条件の改良により新たな価値を生みだそうとしている。

一方、使用原料については、大豆タンパクからエンドウタンパクへの置き換えを目的とした研究報告が増えている。背景には、大豆は欧米でアレルギー

表示が求められることから使用を避けたいという思惑があるようだ。また、大豆を「貴重な畑の肉」と教えられた者としては意外だが欧米では大豆を飼料作物に分類する意識が強いと言われている。近年の研究からは、エンドウタンパクは大豆タンパクよりも代替肉としたときの繊維感が弱いものの、システム添加により繊維感の向上効果が認められる、などの検討結果が報告されている (Peng, Zhang, Wang, Qi, Yue, Zhang, Song, Wang, Zhang, Wang and Ma (2022), Wang, van den Berg, Zhang, Czaja, Zhang, Jespersen and Lametsch (2022))。昆虫や微細藻類など、ほかの代替タンパク源を用いたほうが社会的意義は大きいと思われるが、これらの代替タンパクによる組織化の研究成果はまだ出てきていないようである。

3. おわりに

以上、フードテックで成功分野の一つである代替肉における植物タンパクの組織化について、食品科学工学の視点から技術的な背景をご紹介した。エクストルーダーという加工装置の改良とともに植物タンパクの組織化に関する食品科学工学研究が進展し、30 年以上にわたって蓄積されてきた成果が昨今の代替肉ブームの支えとなっている。今後、更に研究開発が進み、様々な代替タンパクを使用して、ホンモノ以上においしい様々な代替肉製品を楽しめるようになることを願っている。フードテックが環境や持続可能性といった社会課題の解決と同時に食の豊かさを追求していくなかで、食品科学工学が担う役割は、更に大きくなっていくだろう。

参考文献

- 小林敬・Ratchanon Chantanuson・奥山奈名実・西堀功規・赤木美佳・廣塚元彦・長嶺信輔・高村仁知・萬成一笹川譽世・中川空也（2022）「大豆タンパク質のミクロ構造制御を基盤技術とする新規肉様食品の開発」『日本食品工学会誌』第23巻第1号, pp. 35-44.
- 齋政彦・山口貴裕・森田健一（2022）「肉様食品の製造方法」特許第7036972号.
- 酒井忠基（2005）「押出成形技術の歴史と今後の展望」『成型加工』第17巻第4号, pp. 216-223.
- 土井悦史郎（1985）「二軸型エクストルーダーによる食品製造研究の現状」『日本農芸化学会誌』第59巻第9号, pp. 119-120.
- 土井悦史郎（1992）「食品タンパク質の加工特性に関する研究」『日本食品工業学会誌』第39巻第12号, pp. 103-109.
- 長嶺信輔・西堀功規・中川空也・小林敬（2021）「肉代替食品を志向した大豆タンパク質含有繊維の作成」『粉体工学会誌』第58巻, pp. 656-661.
- 橋本修造・服部光男（2021）「膨化蛋白素材の製造法」, WO202071310.
- Berghout, J., 'Shear Cell Technology' 2022.6.3. (<https://edepot.wur.nl/549829>).
- Good Food Institute (2021) "2021 STATE OF THE INDUSTRY REPORT; Plant-based meat, seafood, eggs and dairy", 2022.6.3. (<https://gfi.org/resource/plant-based-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/>)
- Peng, H., Zhang, J., Wang, S., Qi, M., Yue, M., Zhang, S., Song, J., Wang, C., Zhang, D., Wang, X. and Ma, C. (2022) "High moisture extruder of pea protein: Effect of L-cysteine on product properties and the process forming a fibrous structure", *Food Hydrocolloids*, Vol 129, 107633
- Wang, H., van den Berg, F. W. J., Zhang, W., Czaja, T. P., Zhang, L., Jespersen, B. M. and Lametsch, R. (2022) "Differences in physicochemical properties of high-moisture extrudates prepared from soy and pea protein isolates", *Food Hydrocolloids*, Vol. 128, 107540.
- Zhong, J., Mohan, S. D., Bell, A., Terry, A., Mitchell, G. R. and Davis, F. J. (2018) "Electrospinning of food-grade nanofibers from whey protein", *Biological Macromolecules*, Vol. 113, pp. 764-773.