加工油脂の技術変遷 ～「安心・安全」「人手不足」「食品ロス」への対応～

水谷佳奈子

(株式会社ADEKA 食品本部食品開発研究所)

Progress of manufacturing of oil and fat products: Contribution to reliability and safety, labor shortage, food loss and food waste

Kanako Mizutani

Food Development Laboratory, ADEKA Co. Ltd,
7-2-35, Higashiogu, Arakawa-ku, Tokyo, 116-8554

〒116-8554 東京都荒川区東尾久7-2-35

Oils and fats are widely used in processed foods, and they are essential for health, taste and texture. Our food business which started from the production of margarine in 1929, has been working with the highest priority of 'reliability and safety' and 'deliciousness'. We have focused on responding needs and demands in supply chain markets both domestically and abroad, and provided high value-added oil and fat products adjusted to every regional practice and social situation.

In this report, we review how we have coped with some topics such as reduction of trans-fatty acids and recent market issues (for example, 'labor shortage' and 'food loss and food waste').

1. はじめに

油脂は、栄養としてもおいしさの面でも日々の食を支える重要な素材であり、家庭内の調理や食品工業を支える原材料として幅広く使用されている。

本稿では、最近の食品業界を取り巻く環境変化(安心・安全、人手不足、食品ロス等)に対し、油脂産業界がどのように対応してきたかについて、幾つかの事例を挙げ、技術変遷として概説する。

2. 食生活と加工油脂

油脂産業は「製油産業」と「油脂加工産業」に大別され、後者は油脂を原料に二次加工を施し加工油脂製品を生産する工業である¹⁾。一般的に、加工油脂製品としては、家庭で使用されるパンに塗るマーガリン等をイメージしやすいが、日本で年間70万トン超生産される加工油脂製品のうち、こうした家庭用製品は1割程度で、各種食品加工に使用される業務用製品の比率が圧倒的に多いのが実態である²⁾。業務用の加工油脂製品としては、マーガ

リン・ショートニング・ホイップクリーム・マヨネーズ等が挙げられ、パン・菓子・洋菓子/デザート・外食・冷凍食品等に幅広く使用され、これら食品を通じて一般消費者の食生活に重要な役割を果たしている。このため、加工油脂メーカー各社は食品産業や一般消費者を取り巻く市場環境変化を捉え、サプライチェーンのあらゆる場面の要望、課題に応えられる製品の供給を実現するための技術開発に取り組んでいる。

3. 加工油脂製品の製造技術

加工油脂製品はさまざまな原料油脂を精製、加工、ブレンドし、水や香料、乳化剤等と共に乳化、結晶化、可塑化等の工程を経て製造される(図1)。加工油脂製品の物性や機能は原料油脂の組成と製品化する際の結晶化条件、混捏条件に大きく影響されるため、これらをコントロールすることが加工油脂製品の製造技術のポイントである。

油脂の主成分は、グリセリン骨格に3つの脂肪酸がエステル結合したトリアシルグリロール(TG)で、構成

図1 加工油脂製品の製造工程

図2 水素添加とトランス脂肪酸

図3 エステル交換 (上) と分別 (下)

する脂肪酸の種類やその結合位置がTGの物理的性質を支配する。加工油脂製品は油脂が結晶化し固まる性質を利用して製造されるが、原料に用いる油脂はさまざまな特性を持つTGの混合物なので、TG種の組合せ(TG組成)によって油脂の融点や結晶状態が左右される。油脂のTG組成を改変する加工方法としては、水素添加、エステル交換、分別が挙げられる。

第1の加工方法、水素添加は不飽和脂肪酸の炭素—炭素二重結合に水素を付加することで二重結合の数を減らし、飽和脂肪酸の割合を増やす技術である。この工程で得られる油脂のうち、飽和脂肪酸とトランス脂肪酸(不飽和脂肪酸の幾何異性体)を適度に含むものを部分硬化油(PHOs)という(図2)。その組成の複雑性に由来して、特定の温度で溶ける油脂や酸化安定性に優れた油脂等さまざまな性質が得られ、油脂原料として扱いやすいことから、嘗ては各種用途で広く用いられてきた。

第2の加工方法、エステル交換は、TGを構成する脂肪酸の結合位置を再配列する技術である(図3上)。本法によって調製されたエステル交換油は、加工工程でトランス脂肪酸を生成しないため、水素を付加するPHOsに代わり加工油脂製品に広く用いられている。

第3の加工方法、分別は、個々のTGの固まりやすさの違いを利用して融点の異なる画分に分離する技術で、特にパーム油の加工に多用されている(図3下)。分別とエステル交換の加工方法を組み合わせると、単純なTG組成を持つ油脂から、原料油脂の段階で多様なTG組成を持つ油脂に変換することができ、PHOsを代替する上で重要な技術となっている。加工油脂製品は、こうした手法で調製された各種原料油脂を適宜ブレンドし、適切な条件で殺菌、乳化、結晶化、可塑化することでさまざまな用途に適した物性が付与される。

4. トランス脂肪酸低減への取り組み

(1) トランス脂肪酸の健康影響と規制

1995年 Katan らは、トランス脂肪酸(TFA)の摂取が悪玉コレステロール値(LDL)を上昇、善玉コレステロール値(HDL)を低下させ、心疾患のリスクを高める可能性を指摘し、TFAの健康への影響が注目されるようになった(表1)³⁾。WHOは、2003年にTFAの健康影響を評価し、平均摂取量を総エネルギー

表1 TFA, PHOs に関する海外諸国の動向

年度	TFA/PHOs に関する動向	
1995	Katan, Mensink ら	TFA の健康リスクに注目
2003	WHO	TFA の平均摂取量を制限 (1en%以下)
2003	デンマーク	加工油脂中の TFA 含量制限 総脂肪中: 2 g/100 g 以下 (天然由来は除く)
2006	米国	加工食品中の TFA 含量表示義務化
2007	韓国	TFA 表示義務化
2008	台湾	TFA 表示義務化
2010	香港	TFA 表示義務化
2018	WHO	TFA 低減のための行動計画「REPLACE」を公表
	米国/台湾/カナダ	PHOs の使用を規制 (実質的に禁止)
2019	タイ	PHOs の使用を規制 (実質的に禁止)
	EU	加工油脂中の TFA 含量制限 総脂肪中=2 g/100 g 以下 (天然由来は除く)

ギー摂取量の1%未満とする目標値を設定した。このような流れを受け、米国FDAは2006年にTFA含量表示義務化、2018年にはトランス脂肪酸を含むPHOsのGRAS認可の取り消しを決めた。ヨーロッパでは2003年にデンマークが油脂中の工業的TFAを2%以下に規制し、2019年にはEUで同様な規制が採択されている。また、2018年、TFA低減のための行動計画「REPLACE」の中で、WHOは工業的に生成するTFAを排除する方針を示し、各国にその対策を促したことで、米国以外(台湾、カナダ、タイ、シンガポール等)にもPHOs不使用の動きが広がっている。

日本では、国民の大多数がWHO勧告基準であるエネルギー比1%未満のTFA摂取量で、健康への影響を評価できるレベルを下回っていることから、通常の食生活習慣では健康への影響は小さいとの見解が示されている⁴⁾。

(2) PHOs の削減

しかし、当社では「安心・安全」を最優先に考え、業界に先駆けてPHOs削減を推進してきた。PHOsは、製品設計上非常に使い勝手の良い油脂であり、その削減は

加工油脂の基盤を揺るがしかねない課題であったが、原料油脂の改質技術と各種加工油脂製品の製造技術の深耕により、PHOs代替技術を確立するに至っている。現在は、加工油脂業界全体でPHOs削減に取り組み、日本で流通するマーガリン等の加工油脂製品、およびそれらを使用した加工食品に関して、概ねPHOsの削減が進んでいる(表2)⁵⁾。

PHOsの使い勝手の良さは、水素添加の工程で融点の異なる位置異性体や幾何異性体の脂肪酸が生成し、他の油脂に比べTG組成が複雑になることに起因する(異性化水添)。例えば、リノール酸(C18:2, 融点-5~6℃)に対しては、オレイン酸(C18:1 cis, 融点13~14℃)の位置異性体と、幾何異性体としてエライジン酸(C18:1 trans, 融点44~45℃)等が生成する。

部分硬化に代わる油脂改質技術の最大のポイントもTG組成の複雑化にある。エステル交換に分別の技術を組み合わせ、脂肪酸組成や反応条件の工夫でTG組成を任意に複雑化し、固体脂含量(SFC)、結晶化速度、結晶形等をコントロールする。例えば、パームを分別して得られる軟部油(パームオレイン)は、室温でほぼ液状であるが、エステル交換により室温でのSFCが増加し、製品の硬さや可塑性等、良好な物性を付与する有用な油脂に変換される(図4)。改質前はパルミチン酸(P)とオレイン酸(O)の脂肪酸からなる単純なTG組成で、結晶化し難いPOP・POOが大半を占めるのに対し、エステル交換すると、融点の高いPPPやPPO・OPOの割合が増加しTG組成が複雑化する。このTG組成の変化は結晶化速度や結晶転移にも影響を与え、加工油脂製品を設計する上で使いやすい性質に改質される。

加工油脂製品には使用温度で適切な硬さ保つだけでなく、用途によってさまざまな機能が求められる。この機能には油脂結晶の量だけでなく油脂結晶の晶癖(外観形状・構造)が大きく関与するが、エステル交換によるTG組成の変化に伴いこれらも変化し、塗布のしやすさ(スプレッド性)や攪拌して空気を抱き込む性質(クリー

表2 食品中のTFA含量調査結果

	食品中(重量%)	
	2006~2007年	2014~2015年
食パン	0.08	0.03
クロワッサン	0.82	0.54
菓子パン	0.27	0.18
マーガリン	8.70	0.99
ショートニング	12.00	1.00
ショートケーキ	0.44	0.42
デニッシュ	0.49	0.27

2006年は食品安全委員会、それ以外は農林水産省による調査で、表中の値は中央値。試料の採取方法や分析方法が異なるものも含まれるが、3分の2以上の品目について、TFA含量が低下傾向であったと報告されている。

TG組成の変化

SFCの変化

図4 エステル交換によるパームオレイン油の改質

油脂の最小単位TGは、1つのグリセリン骨格に3つの脂肪酸がエステル結合している。グリセリンの3つの炭素に結合する脂肪酸の種類と位置でTGの性質が異なるため構造異性体を区別する。グリセリンの中央の炭素に結合する脂肪酸を左側に配し、上の炭素から1位、2位、3位とし、結合する脂肪酸の頭文字の並びを簡易表記する。例えば、PPPは全てパルミチン酸、POPは1位と3位にパルミチン酸、2位にオレイン酸が結合した状態を示す。

図5 油脂結晶の晶癖と機能

図6 結晶化条件

ミング性)、液状油の滲み(オイルオフ)を抑える耐熱性等の機能が製品に付与される(図5)。

また、油脂の改質技術の他に、各種加工油脂製品の製

造技術も磨いてきた。マーガリンの場合、冷やすと結晶化する油脂の性質を利用し、連続的に急冷・可塑化するマーガリン製造機を用いて製造される。この工程も製品の最終品質を大きく左右するため、加工油脂メーカーは、各社ノウハウを蓄積している。例えば図6に示すように、冷却強度や製造機内での滞留時間等を変えると、油脂の結晶サイズ、結晶形、ネットワーク構造等の変化に起因してマーガリンの硬さ・可塑性が変化する。マーガリン以外の加工油脂製品も、TG組成と結晶性を考慮しながら製造条件等を最適化することで製品の物性調整・機能付与が可能となっている。以上のように、当社では、油脂の改質法として分別・エステル交換を活用し、油脂組成、製造方法(結晶化促進・効果的な練り)等、一連の加工油脂技術を見直すことで、PHOs削減・TFA低減を達成している。さらにこれらの高度な技術を応用して、近年のさまざまな市場課題に適合する製品を生み出している。

5. 人手不足への対応

2018年7月に経済産業省が発表した『製造業における人手不足の現状および外国人材の活用について』⁶⁾によれば、94%以上の大企業・中小企業で人手不足が顕在化している。食品産業においても人手不足は喫緊の課題となっており、製造工程の効率化・省力化のためのさまざまな取り組みが進められている。

製パンにおける油脂の役割は幅広い。油脂をほとんど配合しないフランスパンに対して、マーガリンを練り込んだ食パン・菓子パンや、それを折り込んだクロワッサン・デニッシュペストリーはバラエティ豊かな風味と食感を持ち、パンの商品特徴の一端をマーガリンが担っている。本稿では、パン業界の人手不足の状況を受け、製パン工程の作業効率向上に注目したマーガリン開発事例を紹介する。

一般的なパンの製造工程は①パン生地調整工程（ミキシング工程）、②分割工程、③発酵工程、④焼成工程、⑤包装工程からなっている。①のミキシング工程はパンの品質にとって重要な工程である。マーガリンはミキシング途中に添加され、生地への練り込まれ方がパン生地の状態を左右するため、毎回の生産で安定的かつ均一に生地に練り込まれるのが理想である。そのためマーガリンは適正温度で練り込まれやすい物性に設計され、調温後使用される。マーガリンは適正温度を低く外れると油脂結晶量が多く硬い物性に、高く外れると結晶量が少なく柔らかい物性になってしまうが、実際の連続生産の現場において、マーガリンの調温条件（時間・温度等）が変動することは珍しくない。加えて、製造設備や生地配合、季節要因等、複数の条件でパン生地の状態が変動しマーガリンの練り込まれ方やミキシング後の生地の仕上

がりに影響する。そこで従来は、熟練者が生地状態とマーガリンの練り込まれ方を見ながらミキシング時間を巧みにコントロールすることでパンの品質を安定化させてきた。しかし近年人手不足による生産効率化や高齢化等による熟練者不足の影響で、調温時間の管理や熟練を要さない簡便で使い勝手の良いマーガリンに対するニーズが高まっている。

そこで当社では、マーガリンの調温条件やミキシング途中の生地状態が変動してもパン生地に練り込まれやすいマーガリンを開発した。油脂組成と急冷・可塑性条件の工夫により油脂結晶の量と質をコントロールすることで、マーガリンやショートニングに可塑性と生地中での分散性を付与することで実現した。図7は、本方式のマーガリンを横型ミキサーで実際にパン生地への練り込んだ際の状態を示しており、迅速に生地中へ分散してなじんでいく様子を見ることができる。従来式のマーガリンが調温温度によって最適ミキシング時間が変動するのに対し、新たに開発した本方式のマーガリンは広い温度帯でミキシング時間に差が生じないため、熟練者の見極めがなくても安定した品質が得られやすい設計になっており、製パン業界の人手不足対策の一助になると期待している。

6. 食品ロスへの対応

世界人口が増加し続ける中で、十分な食料を得ることができない飢餓人口はアフリカや南アジアを中心に8億2000万人以上と報告されている⁷⁾。一方で、先進国を中心に世界全体では莫大な量の食品が食べられることなく廃棄されており、その量は年間13億トン、世界の食料生産量の3分の1にも及んでいる⁸⁾。この食品ロスは世界的な社会問題として認識され、SDGs（2015年に国連で合意された世界全体で取り組む持続的な開発目標）にお

図7 新規開発のマーガリンの生地への分散性

大型（横型）ミキサーを使ったパン生地のミキシング評価。試験に供したマーガリンは、一般的な練り込み適正温度を低く外れた温度（5℃）で調温した。新規開発油脂はパン生地に練り込まれやすく、ミキシング時間の短縮も可能である。

いてはゴール12（つくる責任・つかう責任）の中のターゲット12.3として「2030年までに小売・消費レベルにおける世界全体の一人当たりの食料の廃棄を半減させ、収穫後損失等の生産・サプライチェーンにおける食品ロスを減少させる」ことが定められている。

日本で発生する食品ロスは612万トンと推計され⁹⁾、国民一人当たりで換算すると“お茶碗約1杯分(約132g)の食べもの”が毎日捨てられていることになる。日本の食品ロスのうち328万トンは食品事業者から排出されるもので、食品製造・流通・小売りの過程で発生する規格外品や返品、売れ残り等である。

このような状況を受けて、日本では2019年10月に『食品ロスの削減の推進に関する法律』が施行され¹⁰⁾、食品に関わるサプライチェーン全体に対策強化が求められている。食品ロスの削減に向けて、流通においては商習慣

の見直しによる納品期限の緩和や AI 等を活用した商品発注の精度向上、期限切れ間近の商品の値引き販売やフードバンクとの連携といった対策が、食品メーカーにおいては製造工程の効率化による規格外品の発生抑制や、鮮度を保持し賞味期限・消費期限の延長に向けた商品開発等が検討されている。

本稿では、その商品特性から消費期限切れの食品ロスが発生しやすい洋菓子・デザート類について取り上げ、流通面・原料面からロスを削減する取り組みを紹介する。洋菓子・デザート類は、工場で生産後、チルド条件で流通、店舗でチルド販売されることが多い商材である。販売数の変動を見込み、欠品しない十分な数量を生産・供給するが、チルド条件では経日的に鮮度低下が進行するため、店舗での売れ残りによる食品ロスが問題となっている。この問題を解消するべく、業界ではフローズンチ

		製造	流通	販売
チルド流通	温度帯	チルド		
	課題	(生産面) 計画生産困難	(品質面) 経日的に鮮度低下	(食品ロス面) 売れ残り⇒食品ロス
フローズンチルド流通	温度帯	フローズン		
		フローズン	チルド	
	利点	計画生産・省力化	冷凍中は鮮度維持	需要に合わせ解凍
	課題		冷解凍で鮮度低下	

〈品質面の課題〉

チルド流通	フローズンチルド流通
<p>経日的な ・クリームの口どけ悪化 ・スポンジのべちゃつき (要因) クリームから スポンジへの水分移行</p>	<p>解凍後の ・生クリームの離水・ぼそつき ・スポンジのべちゃつき (要因) 冷解凍に伴う クリームの乳化破壊</p>

図8 フローズンチルド流通の課題

	従来式のクリーム	新規開発クリーム
食感および断面状態	硬くぼそついた食感	なめらかな口当たり
クリームの離水状態	離水が多い	従来の半分以下に抑制

純正クリーム：植物性クリーム＝1：1をホイップし、冷凍解凍後の状態を評価

図9 新規開発クリームの冷凍耐性

ルド流通を導入する動きが広まっている（図8）。

生産後商品を一度冷凍し、需要に応じて必要分を解凍することで売れ残りによる食品ロスを防ぐことができる。また、生産から販売までのバッファー期間が生まれるため、計画生産による省力化も可能となる。

チルド流通ケーキの品質課題は、クリームからスポンジへ水分が移行し、クリームの口どけ悪化やスポンジのべちゃつきが生じるというものであった。これら課題はフローズンチルド流通への移行により大幅に軽減される一方、ケーキの冷凍・解凍に伴うクリームの品質低下が新たな課題として浮上した。ケーキにトッピングされるクリームは、ホイップの過程で水相に含まれる脂肪球が凝集（乳化破壊）し、ホイップ終点では脂肪球が気泡を取り囲んだ網目構造を形成した状態で安定する。冷凍中、クリームの油脂結晶や氷結晶が粗大化すると乳化界面が破壊され、解凍時に脂肪球・気泡の合一が進み、離水や食感低下の要因となる。当社で開発したフローズンチルド用のクリームは、冷凍解凍時の乳化破壊を総合的に抑制することで離水や食感低下を抑制する設計になっている（図9）。これは、TFA 低減処方により微細な油脂結晶を形成し、水相成分の工夫により氷結晶生成・粗大化を抑制することで実現した。このようなアプローチは、洋菓子・デザート類のフローズンチルド流通導入をサポートする技術のひとつとして、食品ロス削減への貢献が期待される。

7. おわりに

マーガリンやショートニング、ホイップクリーム等の加工油脂製品は、パンや菓子をはじめとする多様な加工食品の基幹原料として幅広く活用されている。近年、商品の二極化や少子高齢化に伴う人手不足の悩み、原材料費の上昇や食品ロスに対する意識の高まり等、食品産業

や一般消費者を取り巻く市場環境は刻々と変化している。当社では、PHOs 削減の過程で培った技術をさまざまな市場課題に適合する製品の設計に応用してきた。

今後も、世界の豊かな食生活に貢献することを目指し、「安心・安全」は勿論のこと、消費者の皆様や加工油脂製品をご愛顧いただいているサプライチェーン全体の要望・課題に応えられる製品を開発すべく、加工油脂技術を磨き続けていきたいと考える。

文 献

- 1) 油脂工業会館：油脂産業のご案内、<https://www.yushikaikan.or.jp/guidance.html>（2020年5月閲覧）
- 2) 食品産業センター：平成29年度版 食品産業統計年報（2017）
- 3) 農林水産省：トランス脂肪酸に関する各国・地域の規制状況（2019）、https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trans_fat/overseas/overseas.html（2020年5月閲覧）
- 4) 食品安全委員会：食品に含まれるトランス脂肪酸の食品健康影響評価の状況について（2015）、http://www.fsc.go.jp/osirase/trans_fat.html（2020年5月閲覧）
- 5) 農林水産省：トランス脂肪酸に関する各国・地域の取組（2019）、https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trans_fat/overseas/overseas.html（2020年5月閲覧）
- 6) 経済産業省：製造業における人手不足の現状および外国人材の活用について（2018）、<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180712005/20180712005-2.pdf>（2020年5月閲覧）
- 7) UNICEF: The State of Food Security and Nutrition in the World 2019（2019）
- 8) FAO: Global Food Losses and Food Waste（2011）
- 9) 農林水産省：食品ロス量（平成29年度推計値）の公表について（2020）
- 10) 消費者庁：食品ロスの削減の推進に関する法律（2019）、https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_policy/information/food_loss/promote/（2020年5月閲覧）