



## 食品用乳化剤としての ショ糖脂肪酸エステル

竹内 正一郎



食品は、水、油脂、炭水化物、タンパク質、空気などで構成されており、そこには無数の界面が存在する。乳化剤は、これら食品成分の界面に作用することで、単に水と油を乳化するだけでなく、クリーミーで滑らかな舌触り、口内でサッと溶ける口溶け感、ふわっとした軽い口当たり、サクサクやパリパリとした歯ごたえを演出する。また、乳化剤は製造機械と食品成分の間のできる界面にも作用し、食品の量産化技術の向上にも役立っている。

近年の女性の社会進出や高齢化という社会の構造変化による食生活の変化、および消費者の嗜好の多様化を背景に、食品の加工技術は発展し続けている。食品加工技術の発展に乳化剤は必要であるため、その発展に伴い乳化剤の需要も増加してきた。

ショ糖脂肪酸エステルは乳化剤の1つであり、その機能性の高さから、乳製品、飲料、加工油脂、製菓、健康食品、加工食品など、幅広い用途で利用されている。本稿では、ショ糖脂肪酸エステルの基礎とその多彩な機能を生かした食品への応用例を紹介する。

ルまで製造することができる。

SEの合成法は脂肪酸クロライドや脂肪酸無水物を用いるエステル化反応法、脂肪酸の低級アルコールエステルとのエステル交換反応法、および触媒としてリパーゼなどの酵素を用いる酵素法に大別される。このうち工業化されているのはエステル交換反応法であり、ショ糖と脂肪酸メチルエステルを原料とする<sup>1)</sup>。

### 2. SEの生化学

SEのエステル結合は肝臓ホモジネートや膵液のような酵素標品によって加水分解されること<sup>2)</sup>、ラットを用いた研究ではモノエステル型SEの消化率が高いことが確認されている<sup>3)</sup>。また、<sup>14</sup>C]SEを用いたSEの代謝に関する研究結果では、SEは体内に吸収される前に消化管で加水分解されること、繰り返し摂取しても脂肪組織にSEの蓄積の認められないことが明らかになっている<sup>4)</sup>。

上述以外にもSEの安全性に関する研究は多く、これらの研究は国際機関であるFAO/WHO合同食品添加物専門家会議(JECFA)において評価され、食品添加物としてSEを使用することに問題のないことが確認されている<sup>5)</sup>。

### 3. 食品添加物として使用できる乳化剤

SEは1959年に日本で食品添加物として認可された。その後、1978年に欧州、1983年に米国で食品添加物として認可されたことから、SEの需要は欧米へも拡大した。ただし、当時欧米で認可されたSEはモノエステルからトリエステルの合計量が80%以上という組成制限があり、モノエステルからオクタエステルまでをSEとする日本の認可状況とは異なる。しかし、米国においては2003年に、モノエステルからトリエステル=45%以下、テトラエステルからヘプタエステル=50%以上、オクタエステル=40%以下という組成制限をされたショ糖オリゴエステルが食品添加物として認可

### 1. ショ糖脂肪酸エステルとは

ショ糖脂肪酸エステル(以後、SEと略記)は、ショ糖を親水基、脂肪酸を親油基とした非イオン界面活性剤である(図1)。

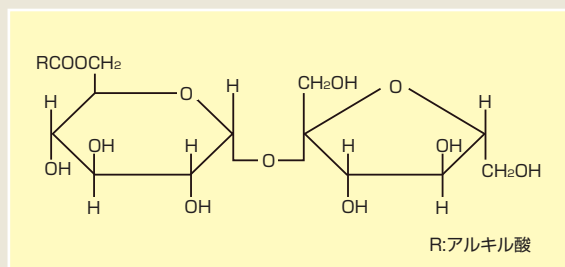


図1 ショ糖脂肪酸エステルの化学構造

ショ糖1分子には8個の水酸基があり、この水酸基に脂肪酸がエステル結合することでモノエステルからオクタエス

を受け、SEの市場はさらに拡大した。

SE以外で食品衛生法によって食品への使用が可能とされる乳化剤には、グリセリン脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステル、プロピレングリコール脂肪酸エステル、レシチン、ステアロイル乳酸カルシウム、植物ステロールの6種がある。2008年には国際的に安全性が認められ、使用実績があるポリソルベート類4種が新たに指定された。

#### 4. SEの機能と応用

乳化剤は水にも油にも馴染む性質を有するが、その化学構造を変えることで水または油への馴染みやすさに片寄りが生じる。この乳化剤の親水性、親油性という性質を特徴付けるには、HLB(Hydrophile Lipophile Balance)という概念が便利である。HLBは0~20までの数値で表され、HLBが高い乳化剤は化学構造内の親水基の割合が多いので水に溶けやすく、HLBが低い乳化剤は親油基の割合が多いので油脂に溶けやすい。

SEの場合は、親水基骨格がショ糖に固定されるので、構成脂肪酸の鎖長が長くて結合数が多いほど、分子内の親油基の占める割合が多くなりHLBは低くなる。また、構成脂肪酸の鎖長が短くて結合数が少ないほど、分子内の親水基の占める割合が多くなるのでHLBは高くなる。SEのHLB範囲は1~19とされており、食品に使用される乳化剤の中ではHLB範囲の広い乳化剤として分類される(表1)。

食品加工は目的に応じてさまざまなHLBの乳化剤が利用されるが、SEはそのHLBの幅広さから食品への利用範

囲は広い。利用目的は、界面活性剤特有の機能としての乳化、可溶化、分散、起泡、消泡のみならず、油脂の改質、でんぷんの老化抑制、滑沢、抗菌までである。ここでは、機能別にSEの食品への応用例を説明する。

#### 1) 乳化

O/Wエマルションは水中に油脂を乳化したものであり、コーヒーホワイトナーやマヨネーズなど多くの乳化系食品はこれに該当する。互いに混じり合わない水と油脂を安定に乳化できる理由は、乳化剤の油水界面張力の低下作用によるものであり、界面張力低下能の優れた乳化剤ほど安定なエマルションを形成できる。

また、長期的に安定なエマルションを形成するためには界面膜を強固にする必要があるが、そのためには乳化剤は単独使用よりも併用とした方が有効である(図2)<sup>6)</sup>。

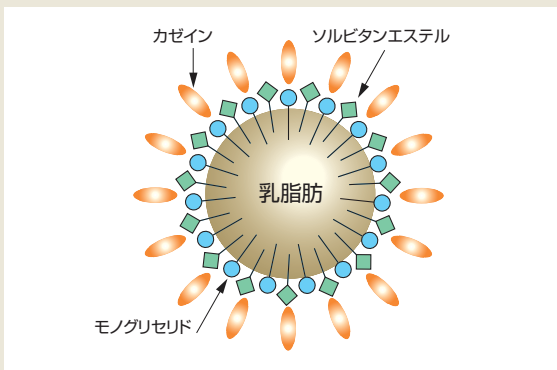


図2 油-乳化剤-カゼインのモデル

	HLB																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
グリセリン脂肪酸エステル																				
有機酸モノグリセリド																				
ポリグリセリン脂肪酸エステル																				
ソルビタン脂肪酸エステル																				
プロピレングリコール脂肪酸エステル																				
レシチン・酵素処理レシチン																				
ポリソルベート類																				
ショ糖脂肪酸エステル																				

表1 食品用乳化剤のHLB範囲

界面張力低下能が優れる中～高HLBのSEは、O/W乳化力が優れているので、コーヒーホワイトナーやホイップクリームなどの乳製品に広く利用されている。コーヒーホワイトナーでは、コーヒーに入れたときにフェザーリング(乳タンパクの羽毛状凝集)やオイルオフ(油脂分離)を起こさず、きれいに分散するという機能を付与する目的にも、中～高HLBのSEが利用される。

コーヒー乳飲料や豆乳飲料では、クリーミング速度の低下とオイルリングの分散性向上が技術課題となる。中～高HLBのSEは乳化安定性を向上させるが、グリセリン脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステルを併用すると、その機能は高まる。コーヒー乳飲料においては、コーヒーの酸味を強める目的でpHを低くしたり、乳風味を強めるために牛乳含量を多くする場合には、カゼインナトリウム、キサンタンガムなどの安定剤を併用することで、乳化安定性はさらに高まる(7,8,9,10)。

図3に牛乳=30%配合のコーヒー乳飲料のタービスキャンを使った乳化安定性評価結果を示す。HLB=16のSE単独使用に比べて、グリセリン脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステルを併用し、さらにカゼインナトリウムを組み合

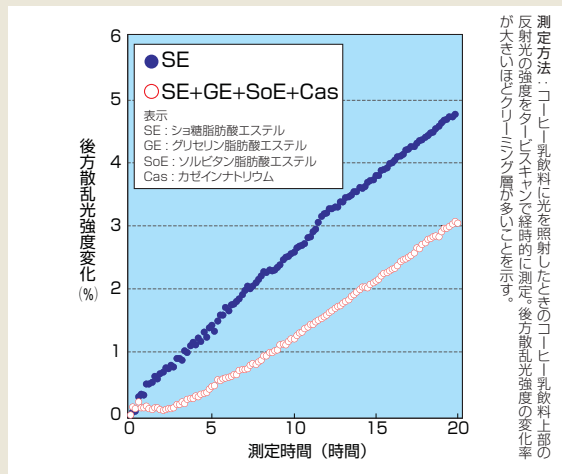


図3 コーヒー乳飲料のクリーミング速度の測定結果

わせることで、コーヒー乳飲料のクリーミング速度が大きく低下し、商品価値の向上につながることが確認できている。

## 2) 可溶化、分散

乳化剤には水中で形成したミセル内に難水溶性物質を取り込むことで水中に溶解させる可溶化機能がある。ショ糖脂肪酸モノエステルは、難水溶性物質の可溶化剤として優れた機能を発揮し、その利用実績は高い。

炭酸カルシウムは水に分散しにくい粉末であるが、高HLBのSEを添加することで水への分散性が向上することが知られており、その機能はショ糖脂肪酸モノエステルによる固体面への二重吸着によるものとされている(図4)1)。

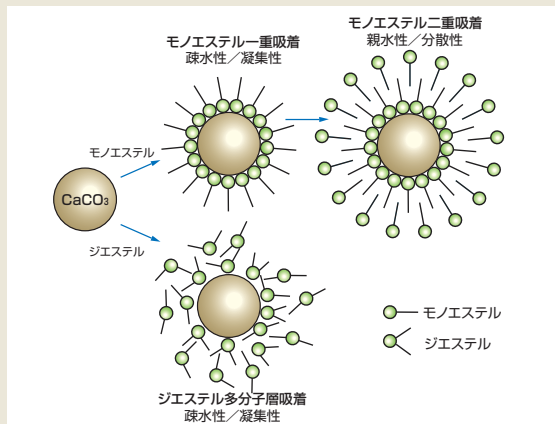


図4 炭酸カルシウムに対するショ糖脂肪酸エステルの吸着モード図

## 3) 油脂結晶の調整機能

経時的な油脂の結晶構造の変化は、食品の保存安定性や物性変化に影響する。たとえば、チョコレートのファットブルーム発生、マーガリンの口溶けや延展性の低下は油脂結晶構造の変化によるものである。乳化剤は油脂結晶に作用することで、結晶を微細化し、経時的な結晶成長や多型転移を抑制する機能がある。特に、カカオ脂の結晶多型転移抑制では、SEの効能は乳化剤の中でトップクラスであり、カカオ脂の構成飽和脂肪酸と構造的に類似の脂肪酸で構成

されたSEが優れる。図5に粗大結晶を形成しやすいパーム油の偏光顕微鏡写真を示すが、HLB=1のSEを添加することで結晶を微細化できる。



図5 徐冷固化したパーム油の偏光顕微鏡写真

#### 4) 起泡

起泡が必要な食品といえばケーキがあるが、高HLBのSEが起泡目的で活用できる。SEはHLBが高くても冷水には溶解しにくいので、あらかじめ水に加熱溶解した方が性能を発揮しやすい。しかし、ケーキを製造する前にSEを水に溶かすという作業は面倒であり、また粉末のケーキミックス用の起泡剤としては使用できない。その場合は、SEの水溶液を糖類共存下で乾燥加工した粉末製剤が有効である(図6)。この粉末製剤は加熱溶解しなくても簡単に起泡するよう設計されているだけでなく、粉形状なのでケー

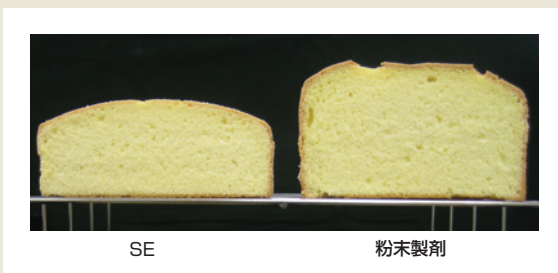


図6 スポンジケーキの起泡性

キミックスに配合できる。また、この粉末製剤はてんぷらやクロquetteなどのバターミックスにも利用でき、サクサクとした軽い食感を演出する。

#### 5) でんぷんの老化抑制

食感改善を目的としたときに重要となる機能は、乳化剤がでんぷんと複合体を形成して、経日的なでんぷんの老化を抑制することである。SEのでんぷんの老化抑制能については詳しく検討されており、ステアリン酸を構成脂肪酸とする中～高HLBのSEが老化抑制に効果的であることがわかっている(図7)<sup>12,13)</sup>。

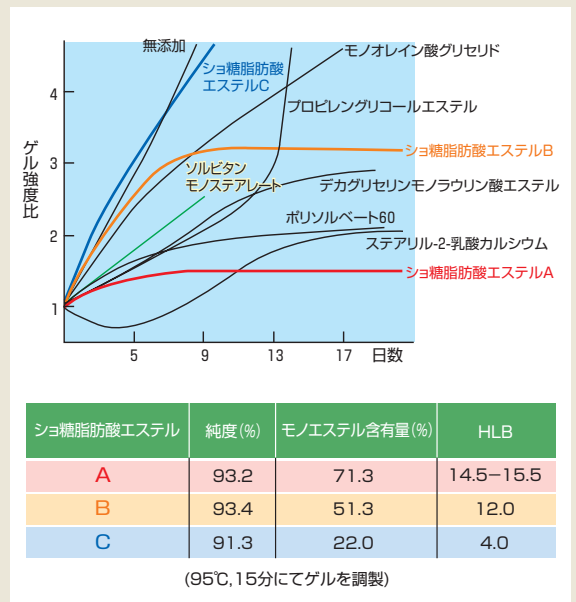


図7 3.5%馬鈴薯でんぷんのゲル強度比に対する活性剤の影響

具体的な例として、でんぷんの老化によりパンは経日的に硬くなるが、高HLBのSEを添加することでやわらかい食感を長時間維持することが可能となる。冷凍ギョーザの皮は冷凍期間中に皮が硬化するが、高HLBのSEを添加することで皮の硬化を抑制することがわかっている。

## 6) 滑沢性能

SEは、錠菓の成形性を向上し、量産製造を可能としている。特にHLB=2のSEの効果が優れており、利用実績は高い(表2)<sup>14)</sup>。HLB=2のSEを使用して製造された錠菓表面は光沢が高まることも特徴である。

HLB	添加量	0.3%	0.2%
15		82.9	92.5
13		85.6	98.6
11		87.4	99.3
9.5		89.4	99.3
8		85.2	99.3
6		90.2	99.4
2		100.0	100.0
1		72.2	99.4

表2 タブレットの良好打錠率(%)

## 7) 芽胞菌による変敗抑制

日本に定着している食文化として缶飲料やPET飲料がある。加温販売される飲料は、加熱殺菌しても死滅しない耐熱性芽胞菌による変敗リスクを抱えている。HLB=15以上のSEは耐熱性芽胞菌の発芽生育抑制に効果があるため<sup>15,16)</sup>、変敗抑制に利用される。SEの抗菌作用は殺菌ではなく静菌と考えられている。

## 8) 最近のトピックス

日本の社会構造の大きな変化といえは高齢化である。2008年9月の時点で65歳以上の高齢者人口は過去最高の2,819万人になり、高齢化に伴い要介護者の人数も増加している。この社会構造変化を背景に濃厚流動食の需要は年率約10%で増加している<sup>17)</sup>。濃厚流動食は、水、炭水化物、油脂、タンパク質、ミネラルなどのバランスを調整した液状食品で、口から飲用されたり、経管投与されたりする。濃厚流動食で重要となるのは、乳化の安定化とタンパク

凝集の抑制であるが、有機酸モノグリにHLB=3以下のSE、またはHLB=14以上のSEを併用することで改善できることがわかっている<sup>18)</sup>。

## 5. おわりに

食品の安定性や食感の改良手段として、食品構成成分の界面を制御することの重要性を述べてきた。SEは界面制御を可能とする素材として食品加工に大いに役立っている。今後の食品開発にSEが一層活躍できる機会が増えることを期待する。

## 参考文献

- 1) 第一工業製薬, シュガーエステル物語, 32 (1984)
- 2) Berry, Turner, J. Am. Oil. Chem. Soc., 37, 302 (1960).
- 3) 石束, 中村, 鈴木, 栄養と食糧, 27, 289(1974).
- 4) The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: F.A.O. Nutrition Meeting Report No.599, p100-114 (1976), No.653, p140-145 (1980), No.859, p12-14 (1995).
- 5) 日高, 食品用乳化剤 第2版, 97 (1991).
- 6) 中村, 永原, 第一工業製薬社報 第466号別冊 コーヒー乳飲料へのDKエステルの応用 (1984).
- 7) 村椿, 近藤, 特許第3433927号
- 8) 竹内, 村椿, 特開2006-141358
- 9) 竹内, 福田, 特開2008-289371
- 10) 馬場, 並木, 前田, 工業化学雑誌, 76, 2081 (1964).
- 11) 木村, 渡辺, 石束, 日本食品工業学会誌, 18, 333(1971).
- 12) 石束, 中村, 栄養と食糧, 27, 5, 221 (1974).
- 13) 第一工業製薬, シュガーエステル物語, 176(1984).
- 14) 第一工業製薬, シュガーエステル物語, 178 (1984).
- 15) Nakayama, Sonobe, Shinya, J. Food Hyg. Soc., Japan, 23, 25(1982).
- 16) (株)総合企画センター大阪, 2009年経腸栄養剤・流動食の市場分析調査 (2009).
- 17) 森, 竹内, 特願2009-37554

## 用語説明

クリーミング速度: 分散している乳化粒子が浮上して、液の上部に粒子が濃縮された状態になる速度

ファットブルーム: チョコレート表面が保存中に白くなる現象