

大豆タンパク質エマルションの物性とその  
エマルションを利用した食品の調製

平成 29 年 3 月博士(学術)授与論文  
博甲第 30 号  
共立女子大学大学院 人間生活学専攻

家政学研究科

江木 伸子

# 目次

序論	1
第1章 エマルションの調製方法	5
実験方法	5
実験結果	7
考察	8
図表	9
第2章 エマルションに及ぼす材料配合比の影響	12
実験方法	12
実験結果	14
考察	20
図表	22
第3章 エマルションの調味および焼成	32
実験方法	32
実験結果	34
考察	36
図表	39
第4章 総括	45
謝辞	49
引用文献	50

# 序 論

## 1. 大豆と大豆タンパク質利用の歴史

大豆は約 4000 年前に中国で栽培化されたと推定されており、中国の長い大豆食の歴史の中から豆乳、豆腐類と腐乳、醤油、豆醬などの食品が生み出された。わが国の大豆は、約 2000 年前の弥生時代に朝鮮半島を通じて米とともに入り、枝豆、煮豆、また、豆乳、豆腐、油揚げ、凍り豆腐、湯葉、オカラ、黄粉などの加工食品、新芽を利用したもやし、味噌、醤油、納豆といった発酵食品として米を主食とする食生活を支えた。同様に東南アジアへ伝搬した大豆からは、インドネシアのテンペイやブータンやネパールのキネマなどの発酵食品を生んだ。一方、欧米への伝搬は 18 世紀にフランスとイギリスに、アメリカへは 19 世紀の初頭に導入されたのが最初であると言われており、1910 年から 1921 年当時、世界の大豆のほとんどすべては満州、中国、日本、朝鮮などの東アジアで生産された。

ヨーロッパ、アメリカで大豆の利用が進んだのは、大豆が油糧作物として注目されるようになったためであり、1914～1930 年代に旧ソ連で、1914 年にアメリカで大豆の商業生産が開始され、アメリカの大豆の生産は 1942 年に中国を抜いて世界第 1 位になった。その後、1970 年代からの大豆の生産は、安価な大豆油の生産、搾油粕を飼料した畜肉の消費増加に対応するために、ブラジル、アルゼンチン等の南米で爆発的に栽培されるようになった。

一方、わが国での大豆の生産は第二次世界大戦前まではほぼ自給できていたが、1955 年に加入した GATT による農産物の関税の自由化により、安価な大豆が大量に輸入されるようになったため、その利用として脂質含量が多いアメリカやブラジル産の輸入大豆を製油に使用し、タンパク質含量の多い国産大豆は主に伝統的大豆加工品に利用している。わが国以外で大豆を調理・加工して利用する主な国は中国と韓国である。2013 年の FAO の統計によると世界の大豆の生産量は 27,600 万 t であり、世界で生産される大豆の 90% が搾油に利用され、残った搾油粕のほとんどは家畜の飼料や肥料とし、その中の一部を食品素材として利用している<sup>1-7)</sup>。

輸入大豆には約 20% の脂質と約 35% のタンパク質が含まれており、搾油後の脱脂大豆は、乾物当たり 50～57% のタンパク質、35～40% 炭水化物、5～8% 灰分を含有する<sup>8)</sup>。大豆タンパク質は、アミノ酸スコア 100 とされており<sup>7)</sup>、搾油粕中のタンパク質の有効利用として 1940 年代にアメリカにおいて、脱脂大豆に水を加えてオカラを除いた後、酸沈殿により糖質を取り除いてタンパク質の純度を約 90% 前後に上げた分離大豆タンパク質 (Soy

Protein Isolate : SPI)の製造が開始され、1942年に日本においてもSPIの製造が開始された<sup>9)</sup>。さらに二軸エクストルーダーを用いて肉状組織食品を製造する技術が開発され、1960年代後半これらの技術が日本に導入された。1975年農政審議会の答申に基づき、大豆タンパク製品の品質向上・基準化のために日本植物蛋白食品協会(社団法人)が発足し、翌年、日本農林規格(JAS)による製品の品質保証が制定された。脱脂大豆由来のタンパク質は、ゲル化性、起泡性、乳化性、保水性、親油性などの機能と粉末状、粒状、繊維状の形態を有した大豆たん白として製品化されており<sup>7,10)</sup>、畜肉・水産・豆腐加工品および惣菜、製菓製パン、冷凍食品素材などとして加工食品市場に進展している<sup>11-13)</sup>。また大豆に含まれるタンパク質は肉に劣らないアミノ酸組成を有する他、コレステロール低下作用<sup>14)</sup>、血中中性脂肪低下作用<sup>15)</sup>が認められたことにより、繊維状の「大豆からあげ」がコレステロール調節作用を示す特定保健食品として1994年に認可され、その後、大豆ヨーグルト、ソーセージ、ハンバーグ、乳酸飲料などの食品が特定保健食品として認可されている<sup>16)</sup>。1999年アメリカでは大豆タンパク質は心臓血管疾患のリスク軽減に有効であるという報告が食品医薬局で許可され、そのためには1日25gの大豆タンパク質の摂取が必要であるとしている<sup>1)</sup>。近年、大豆および大豆タンパク質を含む食品の消費は、豆乳、豆腐など伝統的食品の利用とともにアメリカ、ブラジルなど比較的新しく大豆の栽培をはじめた国において伸びている<sup>7)</sup>。

## 2. 大豆たん白について

日本植物蛋白食品協会における植物たん白とは、大豆と小麦のタンパク質を指す。これら植物タンパク質の国内生産量は1968年に約1万tであったが、2015年は大豆タンパク質のみで3万6968tである。SPIの製造業者は、ソレイ社(アメリカ、デュポン社とブンゲ社の共同設立会社)とADM(アメリカ)が世界的大手で、日本は不二製油(株)である<sup>1-7)</sup>。

従来、大豆タンパク質の評価と改善は、利用する加工食品分野において行われてきたため流通は業務用が主である。大豆タンパク質を使用した加工食品や栄養補助食品を知らずに食する機会は非常に多いが、一般家庭においては肉様組織を有する製品が一部の小売店で購入できるようになった状態であり非常に少ない。組織化大豆タンパク質の利用研究としては、組織化大豆タンパク質の調味に関する研究<sup>17)</sup>、ひき肉料理などへの利用<sup>18)</sup>の報告がある。

一方、最もタンパク質含量の高いSPIは、加工食品業界で広く利用されているが、調理研究はブラマンジェ<sup>19,20)</sup>、クッキー<sup>21,22)</sup>やパン<sup>23)</sup>と少なく、一般家庭での利用はない。

### 3. 分離大豆タンパク(SPI)の乳化特性

大豆タンパク質は溶解性、保水性、ゲル化、乳化性、起泡性、結着性など一般にタンパク質がもつ性質を有しているが、どれも突出した性質ではないとされており、食品系での評価はそれぞれ目的とする食品の加工分野においてなされてきた<sup>24)</sup>。

SPIの機能特性の一つである乳化性は、ソーセージのような畜肉練り製品の油脂の染み出し防止やマヨネーズ様などドレッシングの製造に利用される<sup>7,10)</sup>。SPIの乳化性は、低いタンパク質濃度<sup>24-27)</sup>および、酸性領域において安定性が低い<sup>25)</sup>とされ、この現象はSPIの分子量が大きく、油滴の会合が早いためと考えられている<sup>28)</sup>。改善する方法として、加熱処理<sup>29,30)</sup>、プロテアーゼによる部分加水分解<sup>31-35)</sup>などがあり、これらの技術はSPIの製造に利用されている。JASによる乳化性の規格は、試料7gに水100mlを加え均一な状態になるまで混合したものに精製大豆油100mlを加えて回転数14000の攪拌機で1分間攪拌後、この100mlをメスシリンダーに採取し、30分間静置した後、分離した量が20ml以下である場合、乳化性を有しているとされる<sup>10,36)</sup>。一方、市販のSPIの乳化性を評価した報告<sup>37)</sup>は少ない。

図1に主な大豆たん白の種類と用途<sup>7)</sup>を示した。

### 4. 本研究と論文の構成

市販大豆タンパク質素材の新たな調理技術の開発により、一般家庭および新しい食品加工分野での利用を目的として本研究を実施した。具体的には、調理に取り入れやすいSPIの乳化物として、酢を使うドレッシング、ディップ様の食品を考え、油脂、酢、水を材料として、部分加水分解したSPIの乳化性を調製条件・方法から検討し、無処理のSPIと比較した。また、SPI、油脂、酢、水の材料配合比がエマルションの性状に及ぼす影響を検討し、食品とするエマルションの配合比を選択した。さらに、エマルションを調味する方法を検討し、酢と砂糖の添加方法により保形性のあるマヨネーズ様食品を得た。また砂糖の添加によりSPIエマルションの焼成が可能になり、SPIを高濃度に配合したソフトなケーキ様食品を得た。

本論文の構成は序論と4章からなり、第1章はエマルションの調製方法、第2章はエマルションに及ぼす材料配合比の影響、第3章はエマルションの調味および焼成、第4章は全体の総括とした。



図1 大豆たん白の種類と用途

斎尾恭子, 人類にとってかけがいのない食用マメ類の世界  
 —その利用と栄養—<sup>7)</sup>

## 第1章 エマルションの調製方法

分離大豆タンパク質(SPI), 酢, 大豆油, 水の乳化により調製した大豆タンパク質添加エマルションの性質を酢の添加量および添加順序を変えて検討した. SPI は部分加水分解処理が行われている SPIB と, 加水分解処理が行われていない SPIA を用いた.

### 1. 実験方法

#### (1) エマルションの基本材料

SPI は不二製油(株)調製の SPIA と SPIB を使用した. SPIB はプロテアーゼにより 50°C, 3 時間の加水分解処理が行われており, 製品の一般成分は, 水分 5.5%, タンパク質 86.0%(無水換算 91.0%), 脂質 0.8%, 炭水化物 3.1%, 灰分 4.6%であり, 100g あたり 364kcal のエネルギーを含有する. 油脂は大豆油(不二製油(株)), 酢は酢酸試薬特級(和光純薬(株))を市販穀物酢の酢酸濃度である 4.3%に調整したものを用いた. 水は蒸留水(以後水と示す)を使用した.

#### (2) 乳化前に酢を添加するエマルションの調製法

SPIA と SPIB の各々3g に水 44.5g と酢 2.5g を混合して添加後, パーミックス(ESGE 社)を使用して 12000rpm で 10 秒間攪拌し, さらに 17000rpm で 1 分間攪拌した後, 大豆油 50g を少量ずつ添加しながら 17000rpm 4 分間攪拌してエマルションを調製した.

#### (3) 乳化後に酢を添加するエマルションの調製法

SPIA と SPIB の各々3g に水 44.5g を添加し, 同様に攪拌した後, 大豆油 50g を少量ずつ添加しながら 17000rpm で 2 分間攪拌後, 酢 2.5g を添加しながら 17000rpm で 2 分間攪拌してエマルションを調製した.

#### (4) 酢の配合量

SPIB の濃度 1.5%, 3.0%, 6.0%, 12.0%に対し, 酢の濃度を 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.5%, 6.0%, 10.0%とし, 大豆油の濃度はすべての配合において 50%になるように水で全量を 100 g とし, 乳化後酢を添加する方法でエマルションを調製した.

#### (5) タンパク質量

SPIA と SPIB の全窒素量をケルダール法にて定量した。窒素・タンパク質換算係数は 6.25 として換算した。SPIA と SPIB は乾燥剤の存在下低温保存したものを使用し、同試料を SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動に供した。

#### (6) SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)<sup>38)</sup>

SPIA と SPIB およびアメリカ産の輸入大豆粉 4mg を試料溶液(EzApply (アトー (株)) 1mL に分散し、沸騰液中で 5 分間加熱後 SDS-PAGE 電気泳動に供した。ゲルは 5-20%グラジエントゲル (パジエル T520L アトー (株)) を用いて、20mA, 80 分間泳動し、クマシーブリリアントブルー (EzStain Aqua クマシー, アトー (株)) で染色した。

#### (7) エマルションの形状観察

実体顕微鏡 (SZH-ZB: オリンパス), 顕微鏡 (CX31: オリンパス), 顕微鏡用デジタルマイクロスコープ (MOTICAM2: 島津理化), カメラ (LUMIX DMC-FT1: Panasonic) を用いた。検鏡では、スライドガラス上にエマルションのクリーム部分を薄くのばし、カバーガラスをかけて形状を観察した。

#### (8) エマルションの pH 測定

調製したエマルションを 25°C で 1 時間放置し、ラコムテスター pH 計 pH 510 (アズワン (株)) を使用して測定した。

#### (9) クリープメーターによるテクスチャー測定

エマルションを直径 40mm ステンレスシャーレに入れ、表面が平らになるようにすり切り、25°C で 1 時間放置して測定用サンプルとした。クリープメーター (RHEONER II RE2-3305B: 山電 (株)) のプランジャーは円板型直径 20mm を使用し、測定速度 1mm/sec で移動歪率の波形を求め、自動解析装置 (CA-3305: 山電) のテクスチャー解析にて硬さ、付着性を測定した。測定試料数は 3 回試料を調製して 6~7 個測定し、各 20 個とした。



## 2. 実験結果

### (1) SPIA, SPIB の性質

図 2 に SPIA, SPIB とアメリカ産の輸入大豆粉の SDS 電気泳動パターンを示した。大豆タンパク質の SDS 電気泳動パターンとして、7S グロブリンは  $\alpha$  (平均分子量 72000),  $\alpha'$  (平均分子量 68000) および  $\beta$  サブユニット (平均分子量 52000) からなり、11S グロブリンは複数のサブユニットからなる酸性ポリペプチド (平均分子量 37000) と塩基性ポリペプチド (平均分子量 20000) のパターンがあることが報告されている<sup>39,40)</sup>。輸入大豆粉と SPIA は、ほぼこれら典型的泳動パターンを示したが、SPIB は同様のパターンが存在するものの、分子量 20000 およびこれ以下の小分子量成分が多数存在しており、酵素などによる部分加水分解処理を受けていると考えられた。

タンパク質含量は SPIA が 90.64%, SPIB が 91.51%であった。SPIA および B を JAS 法によって乳化性<sup>36)</sup>を測定したところ、水への分散は SPIB の方が容易であったが、大豆油を加えて攪拌した後の分離の状態に大きな差は認められず、A, B のいずれの SPI の分離量も 20ml 以下であり、JAS 規格の範囲内であった。

### (2) 酢の添加方法がエマルジョンに及ぼす影響

SPIA と SPIB のタンパク質としての機能を発現させるためには、水に懸濁する必要がある。まず、酢の添加の影響を見るために、酢水で SPI を懸濁し、その後乳化する方法 (乳化前酢添加) と SPI を水に懸濁後その乳化物に酢を添加する方法 (乳化後酢添加) で調製したエマルジョンを比較した。SPIA, SPIB 各々 3g, 水 44.5g, 酢 2.5g, 大豆油 50g を材料とした、乳化前酢添加エマルジョンと乳化後酢添加エマルジョンの形状を図 3 に示す。SPIB の乳化後酢添加エマルジョンは保形性を示したが、乳化前酢添加エマルジョンは保形性を示さなかった。また SPIA の両調製法によるエマルジョンに保形性は認められなかった。一方、SPIB の乳化後酢添加エマルジョンは、10°C で 2 週間放置でも形状に変化の見られない高い安定性を示し、均一で軟らかく、滑らかであったが、同じ SPIB の乳化前酢添加エマルジョンは、不均一で滑らかさはなかった。これらエマルジョンを実体顕微鏡および顕微鏡で観察したところ、SPIB の乳化前酢添加エマルジョンの表面には分離した油が見られ、エマルジョン粒子は不均一であったが、SPIB の乳化後酢添加エマルジョンの表面は滑らかで、粒子は小さく均一であった。SPI の等電点は pH4.8<sup>41)</sup> 付近であるといわれているが、この SPIA, SPIB のエマルジョンの pH は 5.3 であった。これらのことより、SPIB の乳化後酢添

加エマルションの保形性は油滴上の SPIB の凝集に必要な酢の量を添加することにより発現すると考えられた。

### (3) 酢の添加量が SPIB エマルションに及ぼす影響

続いて SPIB の乳化後酢添加エマルションにおける酢の添加量の影響を検討した。SPIB の濃度 1.5%~12.0%に対し酢の濃度を 0.5%~10.0%とし、大豆油 50%と水を配合して調製したエマルションのテクスチャーを図 4 に示す。SPIB の濃度、すなわち大豆タンパク質が増加するに伴い、エマルションの硬さおよび付着性は増加した。これらの最大値を示す酢の濃度が SPIB の濃度毎に認められ、SPIB 1.5%では酢の濃度 1.0%、SPIB 3.0%では酢の濃度 1.5%、SPIB 6.0%では酢の濃度 6.0%、SPIB 12.0%では酢の濃度 6.0%であり、この時の pH は 5.3~5.5 であった。また、いずれも pH5.3~5.5 付近をピークとし、硬さおよび付着性は減少した。このように SPIB の乳化後酢添加エマルションにおいて硬さ、付着性が最高値を示すものは pH5.3~5.5 であり、SPIB 1.5~12.0%の範囲において、酢 1.0~10.0%を配合することにより異なるテクスチャーのエマルションが得られることがわかった。

## 3. 考察

酵素処理した SPI である SPIB を水に懸濁した後、その乳化物に酢を添加する方法(乳化後酢添加法)で調製したエマルションに認められた保形性と高い安定性は、油滴上の SPIB が酢により凝集するために発現すると考えられる。SPIB の凝集は、SPIB 1.5~12.0%の範囲において、酢を 1.0~10.0%配合することにより起こり、SPIB を乳化の後に酢を添加し、エマルションを調製することで異なるテクスチャーのエマルションを得ることができると考えられる。JAS による乳化性の評価では、酵素処理 SPIB と無処理の SPIA に差は認められないことから、SPIB に存在する元の分子量区分が乳化安定性に機能し、酵素処理により生成した低分子量区分が乳化後酢を添加して調製したエマルションの形成に有効的に作用していると考えられる。

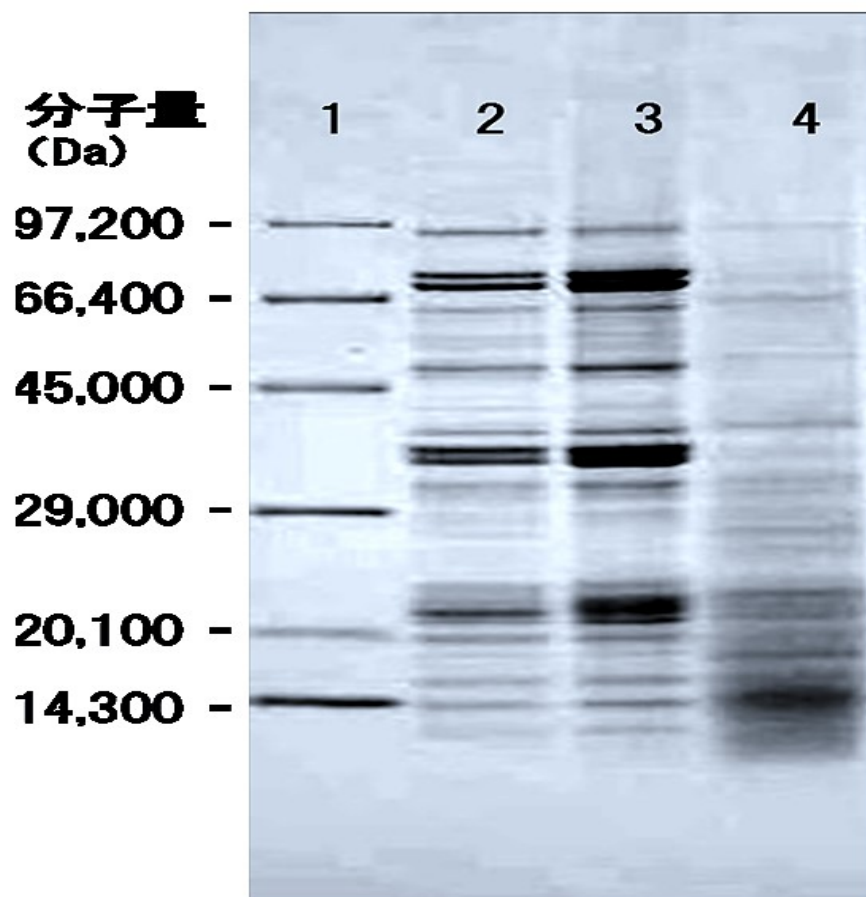


図2 SPIA, B および大豆粉の SDS-PAGE パターン

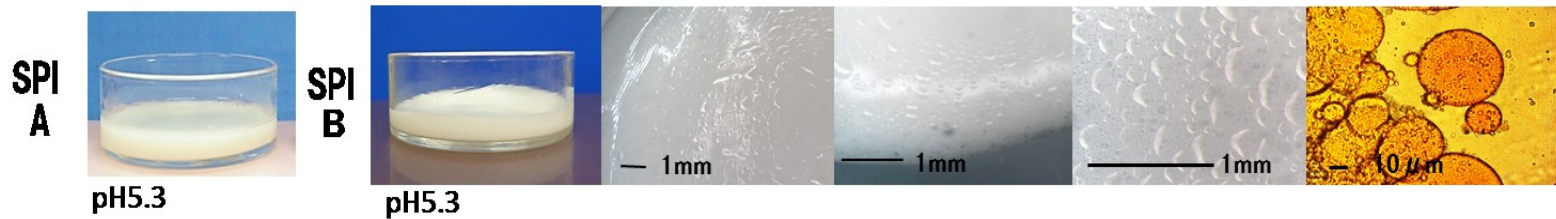
1: 分子量マーカー

2: 輸入大豆粉

3: SPIA

4: SPIB

### 乳化の前に酢を添加してエマルジョン調製



### 乳化の後に酢を添加してエマルジョン調製

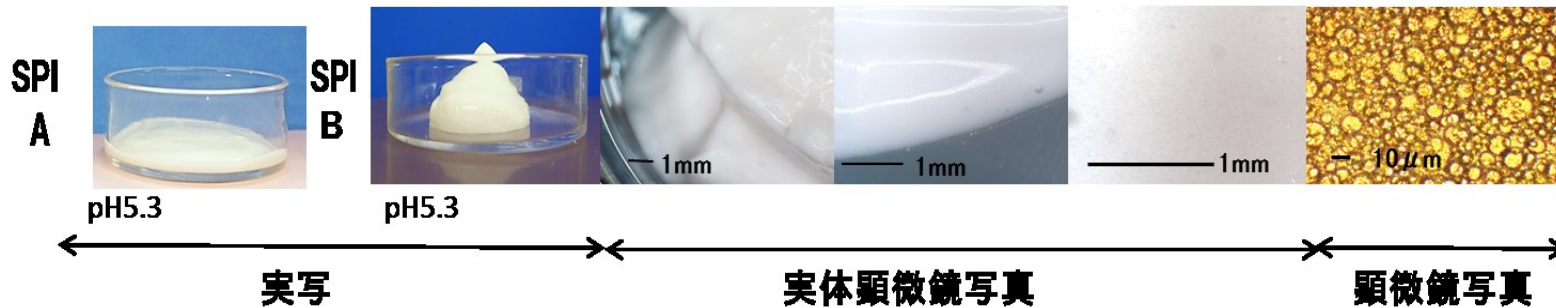
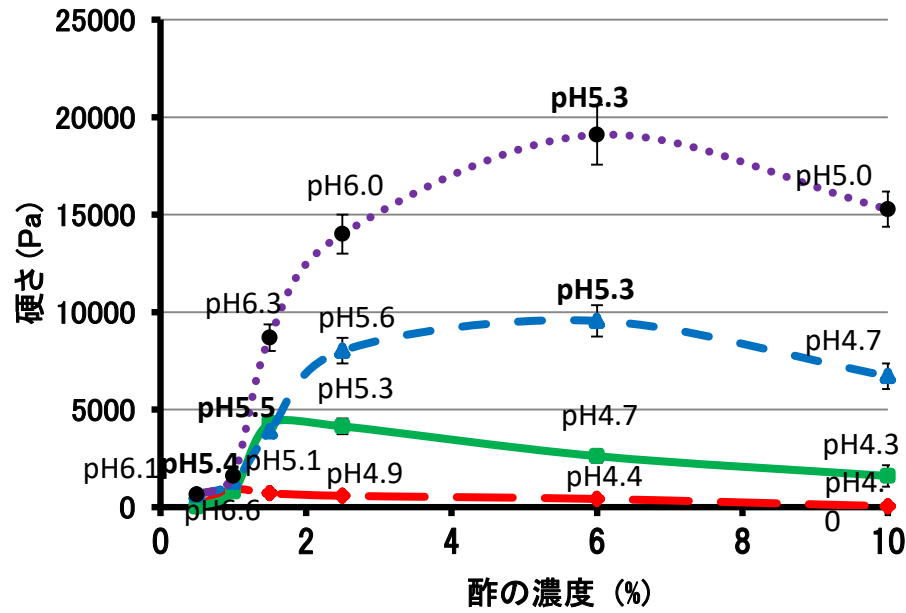


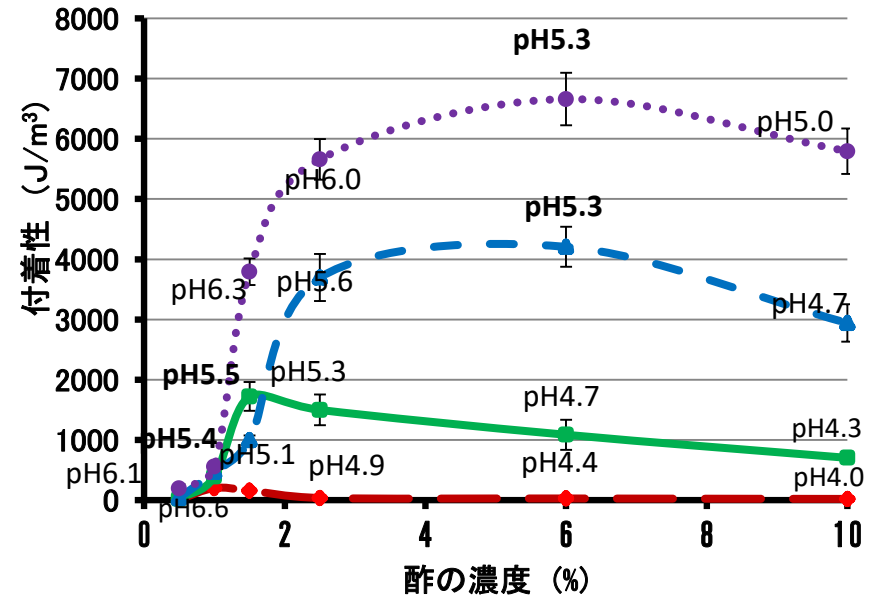
図3 調製法の異なる SPIA, SPIB エマルジョンの形状

SPI 3g, 水 44.5g, 大豆油 50g, 酢 2.5g

硬さ



付着性



◆ SPIB 1.5%    ■ SPIB 3.0%    ▲ SPIB 6.0%    ● SPIB 12.0%

図4 SPIB エマルジョンに及ぼす酢の添加濃度の影響  
大豆油 50%, 水で全量を 100%とし, 乳化後酢を添加して調製

## 第2章 エマルションに及ぼす材料配合比の影響

Scheffé の単純格子計画法<sup>42-46</sup>)を用いて SPI, 油, 酢水の 10 個の配合比を求め, 各エマルションを調製して物性測定および官能評価を行い, エマルションの性状におよぼす配合比の影響を検討した.

### 1. 実験方法

#### (1) エマルションの材料及び調製方法

SPI は不二製油(株)の SPIB, 大豆油, 酢, 水を材料に乳化後に酢を添加する方法にてエマルションを調製した(第1章, 参照).

#### (2) 材料配合比

Scheffé の単純格子計画法に従い, X1 を SPI, X2 を大豆油, X3 を酢と水を合わせた酢水の 3 成分とした. 表 1 に X1, X2, X3 (1, 0, 0) を SPI の最大水準, X1, X2, X3 (0, 1, 0) を大豆油の最大水準, X1, X2, X3 (0, 0, 1) を酢水の最大水準として 10 格子点の配合比を求め, 格子点の試料番号, 格子点水準, 材料配合比として示した. 予備実験によりエマルションを形成できる 3 成分の最小値と最大値の範囲を求め, SPI の配合比は 4~23%, 大豆油および水は 36~55%に定め, 酢はすべての配合において 5.0%に設定し, 各格子点で調製するエマルションを全量 100g とした. エマルションは SPI に酢以外の水を添加し, 大豆油で乳化後酢を添加して調製した. エマルションの状態は目視で判断した.

#### (3) エマルションの形状および平均粒子径測定

顕微鏡, カメラ(第1章, 参照)によりエマルションの形状を観察した. エマルション粒子径は, 顕微鏡に装着したデジタルマイクロスコープの粒子径計測機能により直径を測定(第1章, 参照)し, 平均粒子径および標準偏差を算出した<sup>47-48</sup>).

#### (4) pH の測定

pH メーターを用いて測定した(第1章, 参照).

#### (5) 流動特性の測定

コーンプレート型回転粘度計(TV22 型:東機産業(株))で, 試料 0.25mL, 測定温度 25°C,

コーンローター $3^\circ \times 9.7R$ を用いて測定した。流動曲線はざり速度 $1\sim 100\text{ s}^{-1}$ で段階的に上昇下降させて6回測定した。データ解析はざり履歴測定法の解析ソフト(東機産業(株))とマイクロソフト エクセル統計 2010を用いた。流動曲線からヒステリシスループ法(ざり速度 $1\text{ s}^{-1}$ の長さを $10\text{ mm}$ , ざり応力 $1\text{ Pa}$ の長さを $10\text{ mm}$ のスケールファクターを用いてループの面積を計算)にて, チキソトロピー特性値 $Th$ (以後,  $Th$ と略)を求めた。また, 上昇時の流動曲線から降伏値 $Sc$ , 粘稠性係数 $K$ , 流動性指数 $n$ を求めた<sup>49)</sup>。

## (6) 色調の測定

分光色差計(NF333:日本電色工業(株))と解析装置(Color Mate 5:日本電色工業(株))を使用し, 各格子点水準の $L^*a^*b^*$ と格子点水準①を基準とした色差およびハンター白度を測定した。

## (7) クリープメーターによるテクスチャー測定

エマルションの硬さ, 付着性を第1章に準じて測定した。

## (8) 官能評価

10個の試料について, つり合い不完備型計画法(balanced incomplete block design)<sup>50)</sup>により, 試料4個を20のブロックに分けて, 各ブロックを20名の専門パネルにて, 評点法により1から7の7段階評価で「特性評価」ならびに「嗜好」の項目について評価した。「特性評価」は色, 硬さ, 滑らかさ, 酸味, 油味の5項目とし, 「嗜好」はこれに総合評価を加え6項目とした。試料は透明なアイスクリームのスプーンにのせ, 4試料を一組として白色の紙皿に配し, パネルに提供した。統計方法はつり合い不完備型計画法<sup>50)</sup>に従い調製平均を算出し, 試料間の有意差を検定した。

## (9) 推定式及び推定曲線の作図

エマルションの機器測定による平均粒子径, pH,  $Th$ , 硬さ, 付着性, 色調( $L^*a^*b^*$ , 格子点水準①を基準とした色差, ハンター白度)と官能評価における色, 硬さ, 滑らかさ, 酸味, 油味の「特性評価」および, 色, 硬さ, 滑らかさ, 酸味, 油味, 総合評価の「嗜好」について測定によって得られた特性値と配合比の関係を, Schefféの単純格子計画法<sup>42)</sup>に従い, 3次の推定式として次のように求めた。

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3$$

ただし、Yは特性値の推定値、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ はそれぞれSPI、大豆油、酢水の配合比を示す格子点水準である。推定式の係数 $\beta_i$ 、 $\beta_{ij}$ 、 $\beta_{123}$ は特性値の実測値により次のように求められる。

$$\beta_i = \eta_i \quad (i=1, 2, 3)$$

$$\beta_{ij} = 4\eta_{ij} - 2(\eta_i + \eta_j) \quad (i=1, 2, 3 \quad j=1, 2, 3)$$

$$\beta_{123} = 27\eta_{123} - 12(\eta_{12} + \eta_{23} + \eta_{13}) + 3(\eta_1 \eta_2 \eta_3)$$

ここで $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ は①、②、③の、 $\eta_{12}$ 、 $\eta_{23}$ 、 $\eta_{13}$ は④、⑤、⑥の、 $\eta_{123}$ は⑦の各特性値の実測値である。3次の推定式が各特性値を推定する式に適切かどうか検定するための適合性の判定はSchefféの方法<sup>42)</sup>を用いた。適合性が認められた3次の推定式から任意の格子点の推定値を求め、三角形の格子点をプロットし、等しい推定値を結んで推定曲線を得た。算出した推定式が各力学的特性値を推定する式であるかを検討するため、Schefféの方法を用いて推定値と実測値との適合性を次式より調べた。

$$t = d / (1.276 \cdot s) \sqrt{r}$$

ここで、t：t値、d：推定値と実測値の差、s：標準偏差、r：繰り返し数である。繰り返し数(r)は試料数ではなく、試料の調製回数を用いた。

このSchefféの方法におけるt検定で適合性が認められた場合、3次の推定式から任意の格子点の推定値を求めて正三角形の格子点にプロットし、等しい推定式値を結んで推定曲線を得た。なお、作図には実験計画法のソフトウェアであるDesign Expert (HULINKS Inc.)を使用した<sup>51)</sup>。

## 2. 実験結果

### (1) 材料配合比を変えたときのSPIBエマルションの形状

Schefféの単純格子計画法<sup>42)</sup>は、食品の材料配合と性状の関係を総合的に検討する方法としてマヨネーズの材料配合比の検討にも利用されており<sup>43)</sup>、SPIBの乳化後酢添加エマルションの形状変化に及ぼす配合の違いを検討するのに有効と考え、表1に示す配合比を組み立てた。材料配合比はSPIB、大豆油、酢水の3成分とし、多様な形状のエマルションが得られるように、SPIBの配合比を4~23%の範囲、大豆油および水は36~55%の範囲に定め、



酢はすべての配合においてエマルジョンの形成に適した 5.0%に設定した。また、エマルジョンの状態は目視で判断した。表 1 の配合比に従い、SPIB に水を添加し大豆油で乳化後、酢を添加して調製した①～⑩のエマルジョンを星型に絞り出し、10°Cで 1 週間放置後の形状を観察した(図 5)。その結果、③、⑤、⑩のエマルジョンは星形を保つことができなかつたが、他のエマルジョンは絞り出したままの星形を示した。また①、⑧、④のエマルジョンは絞り出すのに力が必要であり、先が切れて平らになったが、②、⑥、⑦、⑨のエマルジョンはスムーズに角が出るように絞り出すことができ、保形性の良さが示された。既存の食品の物性と比較すると、②エマルジョン (SPIB 4%, 酢 5%, 大豆油 55%, 水 36%) はホイップクリームのような形状、④エマルジョン (SPIB 13.5%, 酢 5%, 大豆油 45.5%, 水 36.0%) はクリームチーズのような形状、⑦エマルジョン (SPIB 10.4%, 酢 5%, 大豆油 42.3%, 水 42.3%) はマヨネーズのような形状を示した。顕微鏡および実体顕微鏡の観察では、①～⑩のエマルジョン粒子はすべて円形を示し、エマルジョンの表面は滑らかであり、不均一で大きな粒子や油の分離はなかつた。10 種類のエマルジョンの平均粒子径は表 2 に示すように、④エマルジョン(1.34  $\mu\text{m}$ )が最も小さく、②エマルジョン(8.03  $\mu\text{m}$ )が最も大きくなり、SPIB の配合比が低く、大豆油や酢水配合比が高いほど大きくなる傾向を示した。これら 10 種類のエマルジョンの流動曲線を図 6 に示す。エマルジョン①の流動曲線は他とは異なり、ずり速度  $1\text{s}^{-1}$  のずり応力は高いが上昇時に急激な低下があり、試料と回転ローターの間ですべりが生じていると考えられた。エマルジョン①は最も多くの SPI を配合するが、平均粒子径はエマルジョン④や⑧に準ずること、表 2 に示すように pH が他と比べて高いことにより SPI が過剰であると推察でき、過剰な SPI が測定中のすべりの原因であると考えられた。①以外の②～⑩のエマルジョンはすべて降伏値をもつ擬塑性流動を示したため、性状の違いを流動特性により検討した。②～⑩のエマルジョンの最大ずり応力およびずり速度の平方根の関係は線形グラフ上において相関係数 0.9 以上の高い相関で直線関係が認められたため、Casson の方法によりずり速度ゼロに外挿して降伏値を求めた。また、ずり応力から降伏値を差し引いた値とずり速度との関係は両対数グラフ上において相関係数 0.9 以上の高い相関で直線関係が認められたため、Herschel-Bulkley の流動方程式により粘稠性係数と流動性指数を求めた。これら分析結果と  $Th$  をエマルジョンの流動特性として表 2 に併記する。④と⑧のエマルジョンは、高い  $Th$ 、降伏値、粘稠性係数を示した。これらは先に述べたように、SPIB の配合比が高く、エマルジョンの絞り出しに力が必要で、絞り先が切れて平らになったエマルジョンである。③と⑤と⑩のエマルジョンは低い  $Th$ 、降伏値、粘稠

性係数を示した。これらのエマルションは、酢水の配合比が高く、絞り出した形である星形を保つことができなかつたエマルションである。②、⑥、⑦、⑨のエマルションの Th、降伏値、粘稠性係数は④、⑧のエマルションと③、⑤、⑩のエマルションの中間に位置する値を示した。さらに②、⑦、⑨のエマルションの流動性指数は他のエマルションと比較して低い値を示した。

## (2) 粒子径の 3 次推定曲線

図 7 の粒子径の 3 次推定曲線より、エマルションの粒子径は大豆油の水準(配合比)が高くなるに従い大きくなり、SPI の水準(配合比)が高くなるほど粒子径は小さくなり、最も粒子径が小さくなる格子点は④、⑧を含む水準であると考えられた。SPI の水準(配合比)が最も高い①の粒子径が比較的大きいのは、SPI に対する酢水の配合が不足してエマルションにならない SPI が存在するためであると考えられる。一方、酢水の高水準(配合比)のエマルションの粒子径が大豆油の高水準(配合比)のものに比べて小さいのは、SPI の酢による凝集が油脂を包むようにおこり、エマルションの粒子を保持する働きをするためであると考えられる。

## (3) pH の 3 次推定曲線

図 7 の pH の 3 次推定曲線より、SPI の水準が高くなるに従いエマルションの pH は高くなり、大豆油や酢水の高水準が高くなるほどエマルションの pH は低くなった。SPI の水準が高くなるほど pH が高くなる現象は、SPI の緩衝作用であると考えられる。

## (4) チキソトロピー特性値 Th の 3 次推定曲線

図 7 の Th の 3 次推定曲線より、SPI の水準が高いものは Th が大きく、大豆油や酢水の高水準が高いものは Th が小さくなった。SPI の水準が最も高いものは①であり、①の Th が最も大きくなるはずであるが、表 2 の実測値が示すように、格子点①の Th は一番大きくはならず、①、④、⑧を含んだ水準の中心に最も Th が大きくなる配合比が存在すること考えられた。①の実測値が低い理由については、①は、SPI が過剰な状態であり、SPI エマルションにおける最大値を示していないためであると考えられる。一方、酢水の含量が多くなると Th は非常に低くなるが、これらに該当する③、⑤、⑩のエマルションは水分が多いため、他とは異なる構造であると考えられた。

### (5) テクスチャー特性の 3 次推定曲線

図 7 の硬さと付着性の 3 次推定曲線は、Th の 3 次推定曲線と同様の傾向を示し、①の硬さ、付着性は最大とはならず、①、④、⑧を含んだ水準の中心に最も硬さ、付着性が大きくなる水準が存在すると考えられた。一方、大豆油および酢水の水準が高くなるに従い、硬さおよび付着性は低下した。また大豆油と酢水では、酢水の水準が高い方がより硬さおよび付着性の低下がみられた。これは Th の推定曲線と同じ結果であり、酢水がエマルションの硬さ、付着性、Th に大きな影響を与えることが明らかとなった。

### (6) 色調の 3 次推定曲線

図 8 の明度  $L^*$  の 3 次推定曲線より、SPI の水準が高いほど暗く、大豆油の水準が高いほど明るくなった。最も明るくなる格子点は、SPI の水準低い格子点である②、⑤、⑦、⑨、⑩を含む水準にあった。

図 8 の  $a^*$  の 3 次推定曲線より、 $a^*$  値の高い①を中心とする赤色の強いグループと、 $a^*$  値がマイナスの②を中心とする緑色を示すグループと、さらに緑色の強い③を中心とするグループと、 $a^*$  値の低い⑦、⑤を中心とするグループの存在が示された。

図 8 の色度  $b^*$  の 3 次推定曲線より、SPI の水準の高い①が最も  $b^*$  値が高く黄色が強いのに対し、大豆油の水準が高くなるに従い  $b^*$  値が低く青色を帯びたエマルションとなった。 $b^*$  値が最も低くなり、青色に傾くエマルションは②を含む水準にあると考えられる。

図 8 の①を基準としたエマルションの色差の 3 次推定曲線より、格子点水準①との色差は、大豆油の水準が高くなるほど大きくなり、色差が最も大になる格子点は、 $L^*$  と同様に、SPI の水準低い格子点である②、⑤、⑦、⑨、⑩を含む水準に存在することが示された。

図 8 のハンター白度の 3 次推定曲線より、大豆油の水準が高くなるに従いハンター白度は高くなり、 $L^*$  および色差の推定曲線と同様に、最も白色を示す格子点が②、⑤、⑦、⑨、⑩を含む水準に存在することが示された。

## (7) エマルションの官能評価

### 1) 特性評価の色

図9の特性評価色の3次推定曲線より、SPIの水準が高いほど暗赤色を示し、色が有ると評価され、また大豆油の水準が高いほど白色を示し、色が無いと評価された。

### 2) 特性評価の硬さ

図9の特性評価硬さの3次推定曲線より、SPIの水準が高いものほど硬さが有るとされたが、①の硬さは最大とはならず、①、④、⑧を含む水準の中心に最も硬いと評価される格子点が存在すると考えられた。一方、大豆油および酢水の水準が高くなるに従い、硬さが無いと評価され、大豆油と酢水では、酢水の水準が高い方がより硬さが無いとされた。特性評価硬さの3次推定曲線はテクスチャー特性の硬さ、付着性、Thが同様の推定曲線を描いた。

### 3) 特性評価の滑らかさ

図9の特性評価滑らかさの3次推定曲線より、SPIの高い水準と酢水の高い水準に滑らかさが無いとされ、大豆油の水準の高い②、⑦、⑨とその延長線上にある⑥に滑らかさが有ると評価された。推定曲線は嗜好の硬さ、嗜好の滑らかさ、嗜好の油味、嗜好の総合評価と同様の曲線を描いた。

### 4) 特性評価の酸味

図9の特性評価酸味の3次推定曲線より、SPIの水準が高いほど酸味が無いと評価され、酢水の水準が高いほど酸味が有ると評価された。pHの3次推定曲線と比較し、酸味の3次推定曲線が複雑な推定曲線を描く理由は、味覚におよぼす大豆油の影響であると考えられる。

### 5) 特性評価の油味

図9の特性評価油味の3次推定曲線より、大豆油の水準が高い②は油味が有ると評価され、SPIの水準が高い①と酢水の水準が高い③は油味が無いと評価された。

## 6) 嗜好の色

図 10 の嗜好色の 3 次推定曲線より、大豆油の水準が高いほど色は好まれ、SPI の水準が高いほど色は好まれなかった。推定曲線は特性評価の色の推定曲線と同様の曲線を描いたことから、大豆油の水準の高いほど色が無いとして好まれ、SPI の水準の高いほど色があるとして好まれないと考えられる。また色調の推定曲線より、SPI の水準が高いほどエマルションの色はくすんだ黄赤色を示すため評価が低く、大豆油の水準の高い②を中心としたエマルションは、明るく白いエマルションを作るため評価が高くなると考えた。

## 7) 嗜好の硬さ

図 10 の嗜好硬さの 3 次の推定曲線より、SPI の高い水準と酢水の高い水準の硬さが好まれず、大豆油の高い水準の②、⑦、⑨とその延長線上にある⑥の硬さが好まれた、推定曲線は、特性評価の滑らかさ、嗜好の滑らかさ、嗜好の油味、嗜好の総合評価と同様の曲線を描いた。

## 8) 嗜好の滑らかさ

図 10 の嗜好滑らかさの 3 次の推定曲線より、SPI の高い水準と酢水の高い水準の滑らかさが好まれず、大豆油の高い水準の②、⑦、⑨とその延長線上にある⑥の滑らかさが好ましいと評価された。推定曲線は特性評価の滑らかさ、嗜好の硬さ、嗜好の油味、嗜好の総合評価と同様の曲線を描いた。

## 9) 嗜好の酸味

図 10 の嗜好酸味の 3 次推定曲線より、大豆油の水準が高くなるほど酸味は好まれ、酢水の水準が高くなるほど酸味は好まれない傾向を示した。

## 10) 嗜好の油味

図 10 の嗜好油味の 3 次推定曲線より、大豆油の水準の高い②、⑦、⑨の油味が好ましいと評価され、その延長線上にあり特性評価で油味が有ると評価された⑥の油味も好まれる傾向を示した。推定曲線は特性評価の滑らかさ、嗜好の硬さ、嗜好の滑らかさ、嗜好の総合評価と同様の曲線を描いた。

### 11) 嗜好総合評価

図 11 の嗜好総合評価の 3 次推定曲線は、特性評価の滑らかさや、嗜好の硬さ、嗜好の滑らかさ、嗜好の油味の推定曲線と同様の曲線を描いたことから、エマルションの嗜好の総合評価には、エマルションの硬さ、滑らかさ、油味が大きな影響を与えると推察された。大豆油の水準の高い②，⑦，⑨が 5%の危険率で有意に好まれたことにより、好まれる条件として油脂の配合比が重要であることが分かる。3 次の推定曲線には、硬さや滑らかさや油味の推定曲線と同様に、②，⑨，⑦の延長線上に⑥の存在が示された。⑥に有意差は認められなかったが好まれる傾向を示すことから、油脂量や酢水の量を変化させて同様の滑らかさや硬さを示す配合比を推定曲線から求めることが可能であると推察される。①～⑩の総合評価のコメントとして、①は粉っぽいピーナツクリーム状，②はホイップクリーム状，③は粉っぽく水っぽい泡状，④はクリームチーズ様，⑤はフレンチドレッシング様，⑥は粉っぽいエマルション，⑦はマヨネーズ様，⑧はバタークリーム様，⑨はスプレッド様，⑩は胡麻ドレッシング様といった評価を得た。これらの結果により有意に好まれた範囲のエマルションの利用としては、②のホイップクリーム，⑨のスプレッド，⑦のマヨネーズであると考えられる。

### 12) 官能評価と機器評価の相関

総合評価の推定曲線と同様の推定曲線が描かれたものは、特性評価の滑らかさ(図 9)、嗜好の硬さ、滑らかさ、油味(図 10)であった。総合評価と特性評価項目間の相関は、滑らかさと正の相関、色と負の相関があり、総合評価と嗜好の項目間では色、硬さ、滑らかさ、油味と正の相関がみられた(表 3)。官能評価と機器評価の相関において、特性評価の色、硬さと嗜好の色に相関のある機器評価項目は多数あったが、特性評価の滑らかさ、油味および嗜好の硬さ、滑らかさと機器評価項目に有意な相関はみられなかった。唯一、嗜好の油味に相関を示す機器評価項目としては流動性指数があり、その他、Th、降伏値、粘稠性係数は特性評価の硬さと、降伏値は嗜好の色と、Th は嗜好の色と総合評価に相関がみられた(表 4)。

## 3. 考察

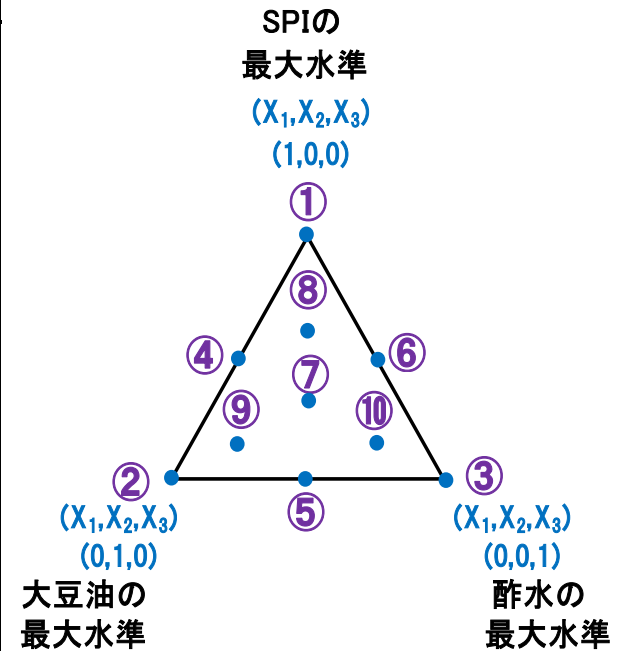
SPI 水準の高い④，⑧は、粒子が小さく、暗黄赤色で、硬さ、付着性が大きく、高い Th と高い降伏値、粘稠性係数を示した。また官能評価では硬く、酸味、油味、滑らかさが

無いと評価された。酢水水準の高い③, ⑤, ⑩は, 低い Th と低い降伏値, 粘稠性係数を示した。油脂水準の高い②, ⑦, ⑨と⑥は粒子が大きく, 白色で, 硬さ, 付着性が低く, 滑らかさを有し, 色, 硬さ, 滑らかさ, 油味が好まれた。Th, 降伏値, 粘稠性係数は酢水水準の高い③, ⑤, ⑩と SPI 水準の高い④, ⑧の中間値を示した。②, ⑦, ⑨ の流動性指数は, 他のエマルジョンと比較して低い値を示した。②のエマルジョンは, ホイップクリーム様, ⑦はマヨネーズ様, ⑨はスプレッド様の形状を示し, 嗜好の総合評価で有意に好まれた。

表 2 の平均粒子径と pH の測定値からエマルジョンに配合できる SPI B は, エマルジョン④の 13.5%~エマルジョン⑧の 16.7%付近であると考えられたが, 調製食品のタンパク質濃度を高く保ち, 平均粒子径および物性値から総合的に最適配合と考えられる, エマルジョン⑦を今後の実験に用いることにした。

表1 Schefféの単純格子計画法による配合比

試料 番号	格子点水準			材料配合比 (全量100g)		
	$(X_1, X_2, X_3)$	SPI	大豆油	酢水		
				酢	水	
①	(1, 0, 0)	23	36	5	36	
②	(0, 1, 0)	4	55	5	36	
③	(0, 0, 1)	4	36	5	55	
④	(1/2, 1/2, 0)	13.5	45.5	5	36	
⑤	(0, 1/2, 1/2)	4	45.5	5	45.5	
⑥	(1/2, 0, 1/2)	13.5	36	5	45.5	
⑦	(1/3, 1/3, 1/3)	10.4	42.3	5	42.3	
⑧	(2/3, 1/6, 1/6)	16.7	39.1	5	39.2	
⑨	(1/6, 2/3, 1/6)	7.2	48.6	5	39.2	
⑩	(1/6, 1/6, 2/3)	7.2	39.1	5	48.7	



酢：4.3%酢酸

$X_1$  : SPI,  $X_2$  : 大豆油,  $X_3$  : 酢水, ● : ①~⑩の格子点の位置



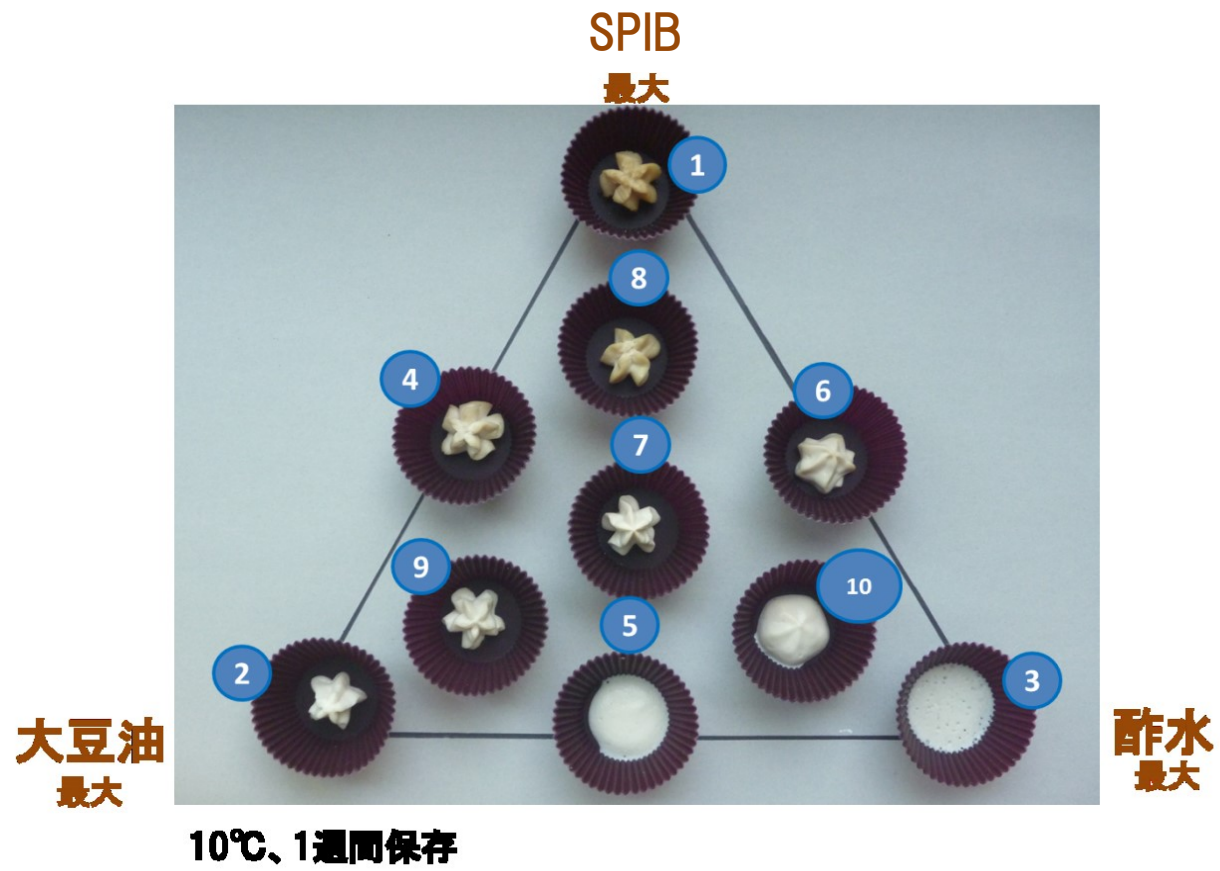


図5 Schefféの単純格子計画法によるエマルジョンの形状

表 2 SPIB エマルションの平均粒子径, pH, 流動特性

エマルション NO	平均粒子径 ( $\mu\text{m}$ )		pH	チキソトロピー特性値 Th		Casson降伏値 $Sc$ (Pa)		粘稠性係数 $K$ (Pa. s)		流動性指数 $n$	
①	2.84	$\pm 1.2$	5.6	—	—	—	—	—	—	—	—
②	8.03	$\pm 5.3$	4.7	1888	$\pm 138$	99	$\pm 1.12$	11.9	$\pm 0.09$	0.56	$\pm 0.008$
③	5.00	$\pm 4.1$	4.5	132	$\pm 3$	4	$\pm 0.02$	0.3	$\pm 0.03$	0.71	$\pm 0.003$
④	1.34	$\pm 0.6$	5.2	35582	$\pm 920$	755	$\pm 4.51$	18.2	$\pm 0.04$	0.84	$\pm 0.002$
⑤	5.37	$\pm 3.6$	4.5	530	$\pm 16$	10	$\pm 0.05$	0.9	$\pm 0.02$	0.76	$\pm 0.006$
⑥	2.06	$\pm 0.7$	5.2	2539	$\pm 81$	36	$\pm 0.46$	16.1	$\pm 0.09$	0.61	$\pm 0.001$
⑦	1.72	$\pm 0.8$	5.2	5816	$\pm 272$	128	$\pm 1.47$	24.4	$\pm 0.03$	0.51	$\pm 0.006$
⑧	1.09	$\pm 0.6$	5.3	48863	$\pm 1169$	1100	$\pm 7.38$	44.4	$\pm 0.02$	0.57	$\pm 0.002$
⑨	3.92	$\pm 1.2$	4.8	17864	$\pm 303$	256	$\pm 1.54$	8.3	$\pm 0.01$	0.46	$\pm 0.004$
⑩	3.51	$\pm 3.2$	4.8	2107	$\pm 95$	49	$\pm 0.02$	4.7	$\pm 0.02$	0.56	$\pm 0.001$

平均粒子径は、顕微鏡用デジタルマイクロスコープにより画面上の粒子径を測定し、異なる検体を用いて3回行い、合計して  
 平均値を算出した。流動曲線よりチキソトロピー特性値 Th, 上昇時の流動曲線より Casson 降伏値 Sc, 粘稠性係数 K, 流動性指数 n  
 を求めた。測定は6回くりかえした

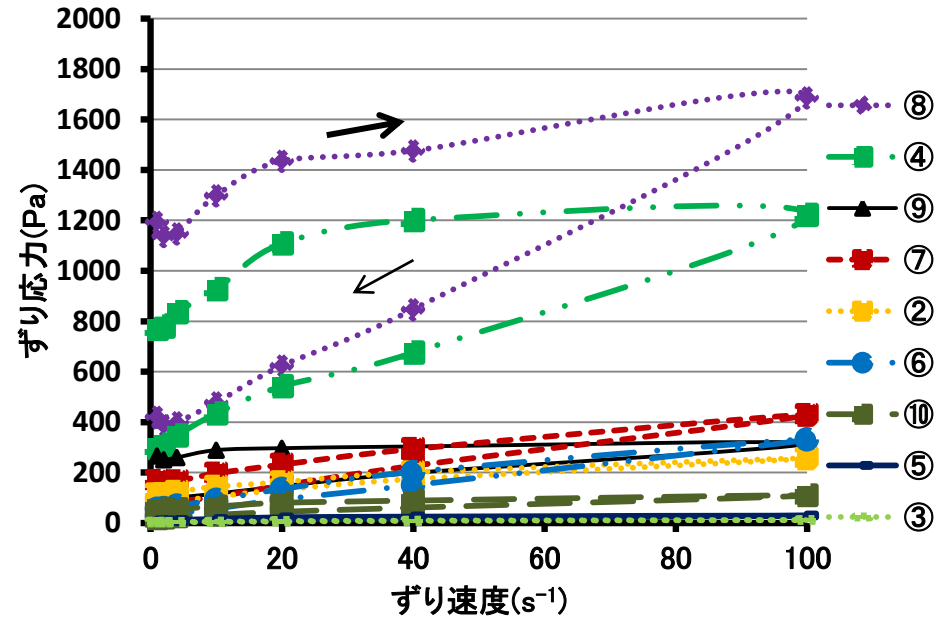
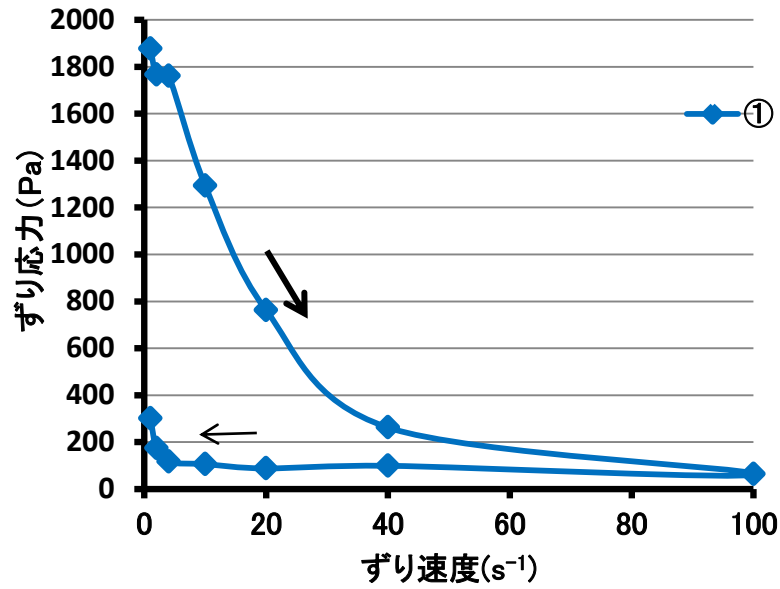


図6 SPIB エマルジョンの流動曲線

太い矢印(➡):ずり速度上昇時, 細い矢印(←):ずり速度下降時

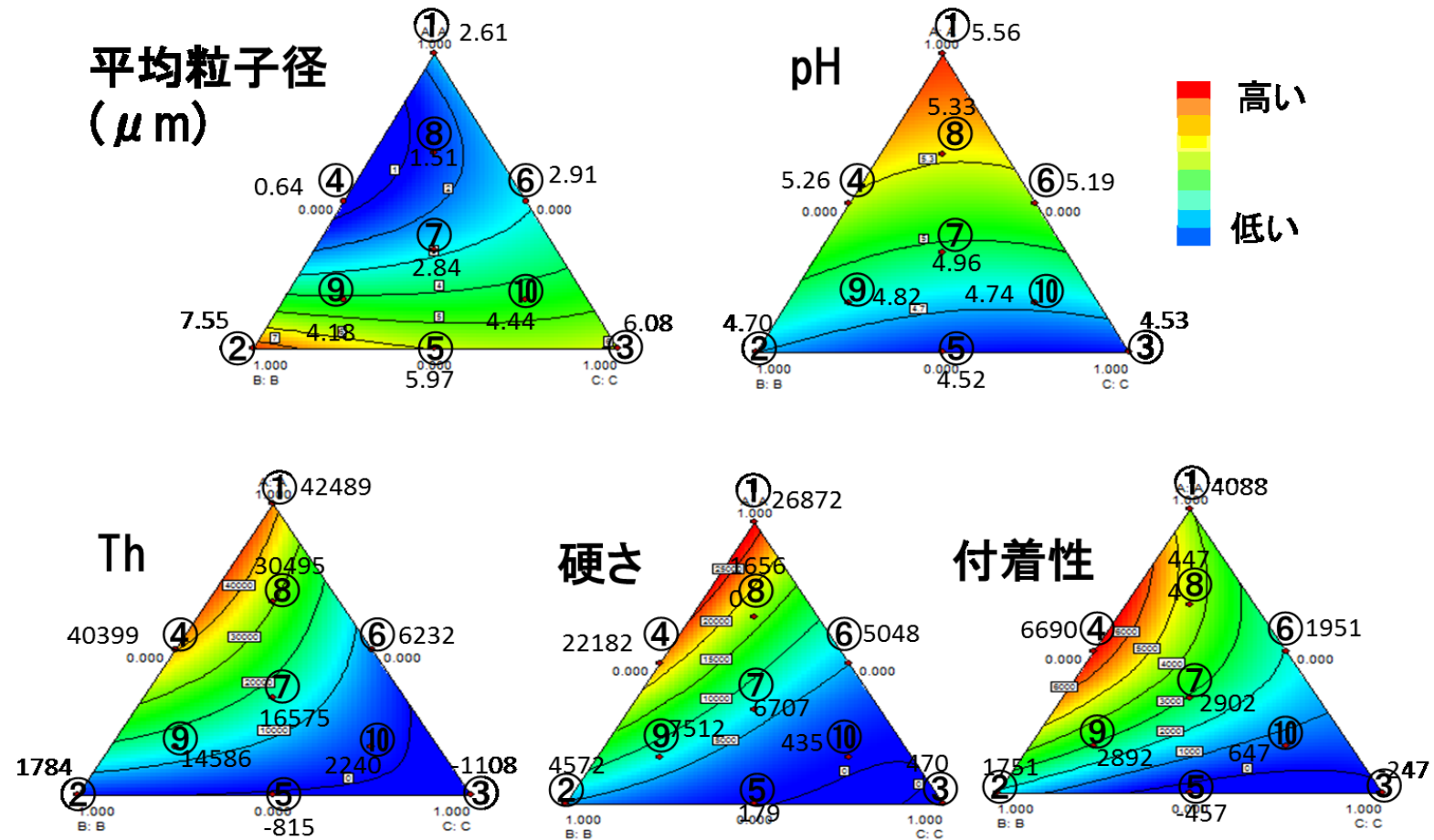


図7 SPIB エマルション物性の3次推定曲線

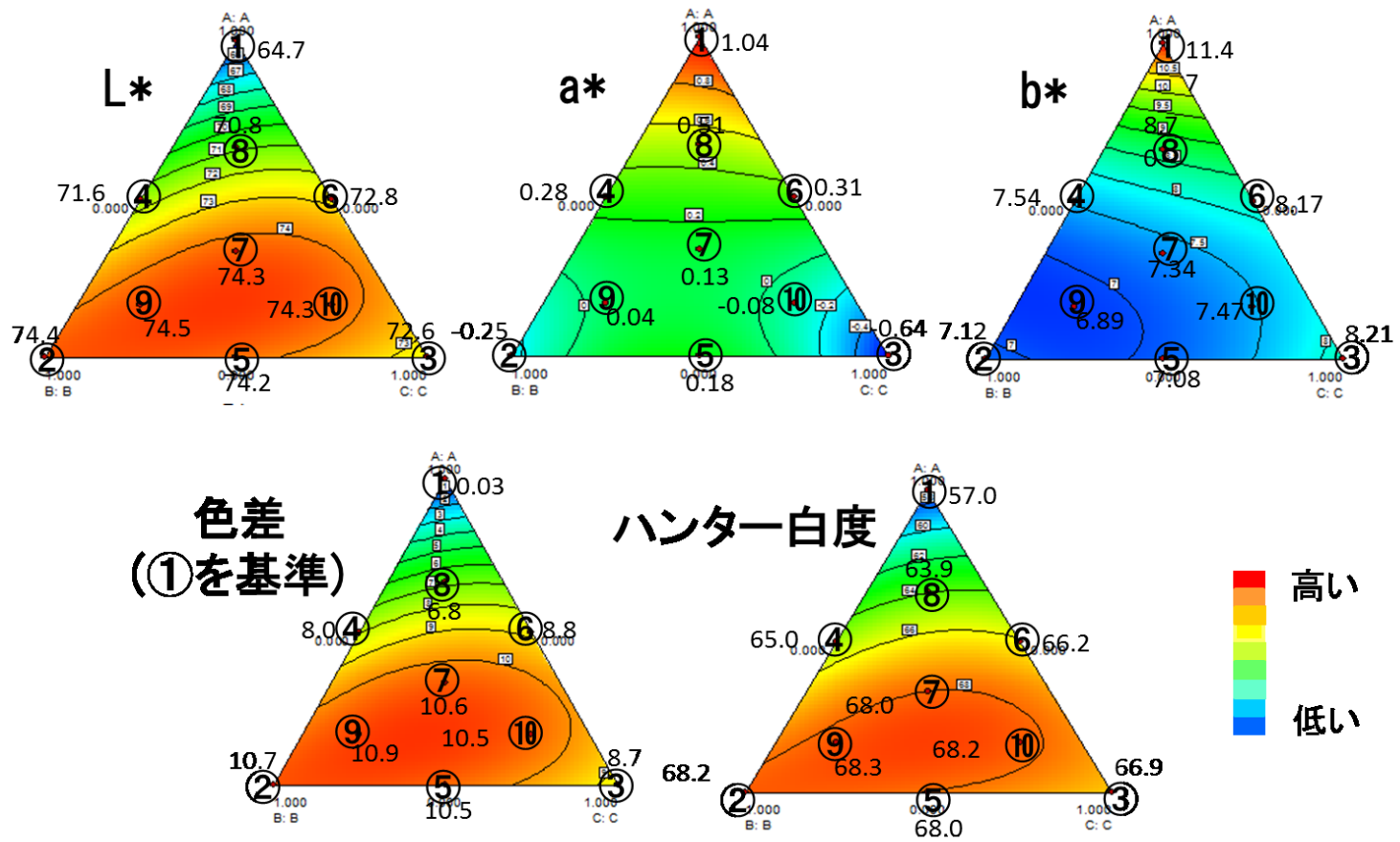


図8 SP1B エマルション色調の3次推定曲線

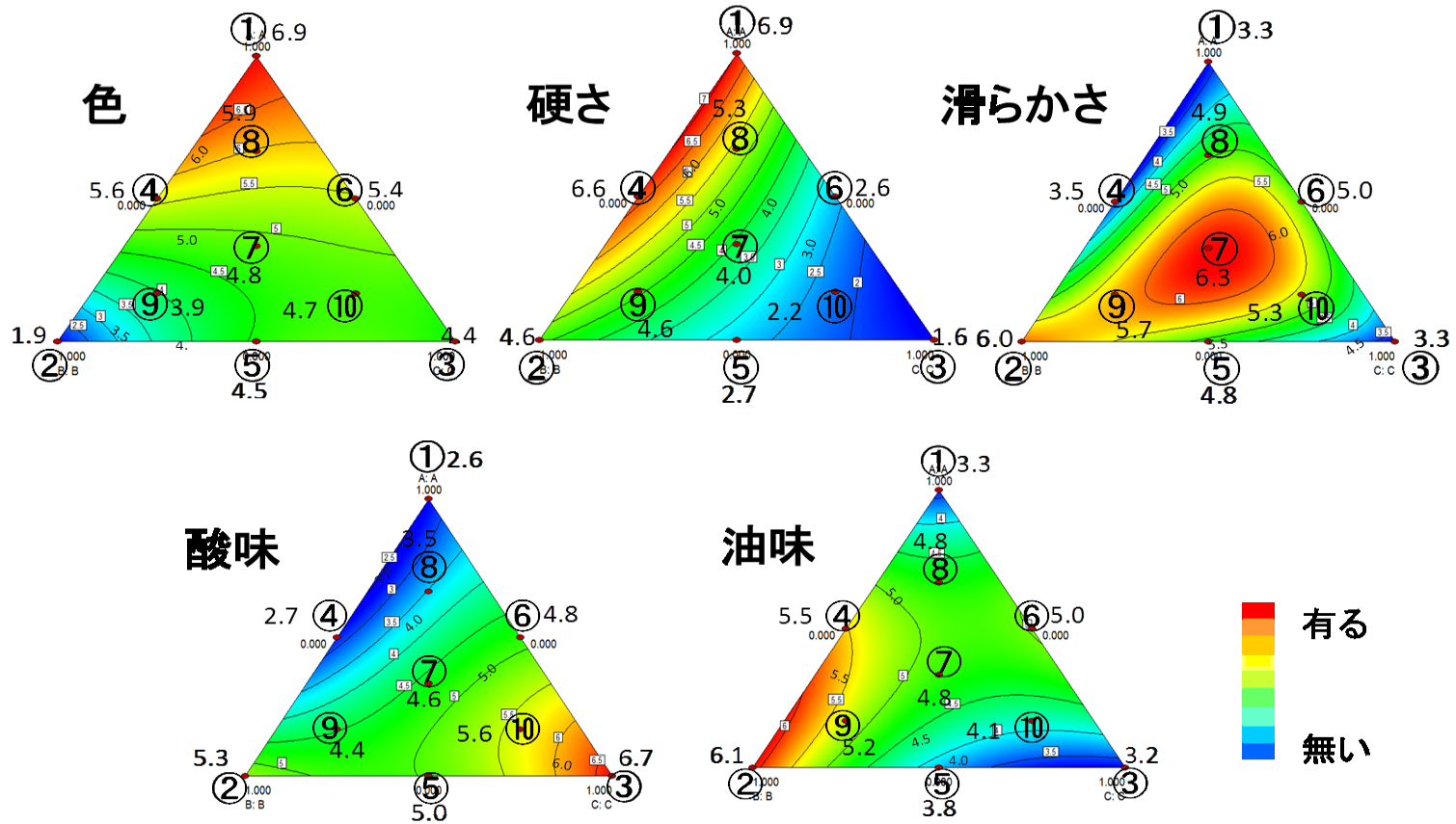


図9 SPIB エマルジョン官能評価(特性評価)の3次推定曲線

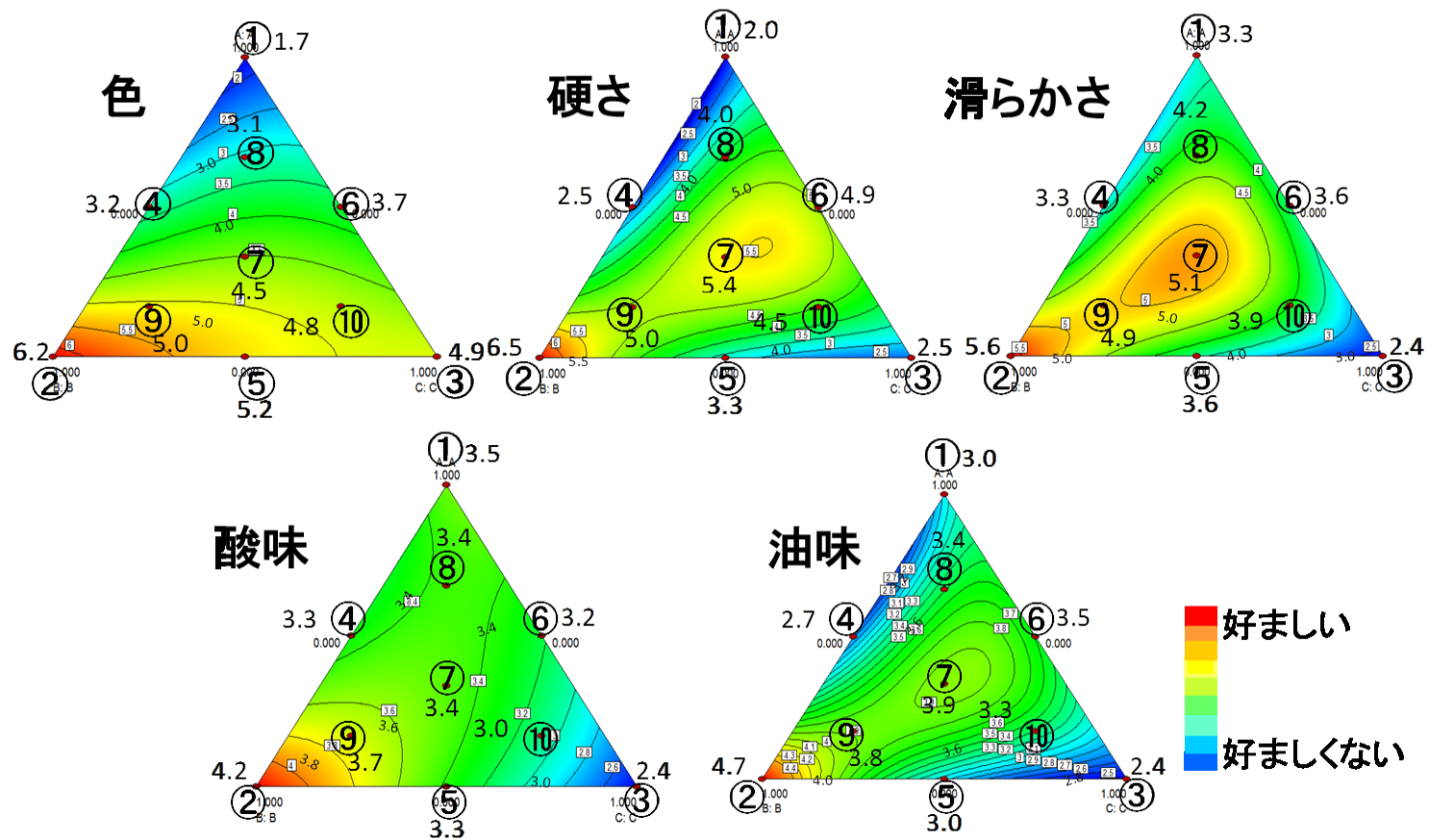
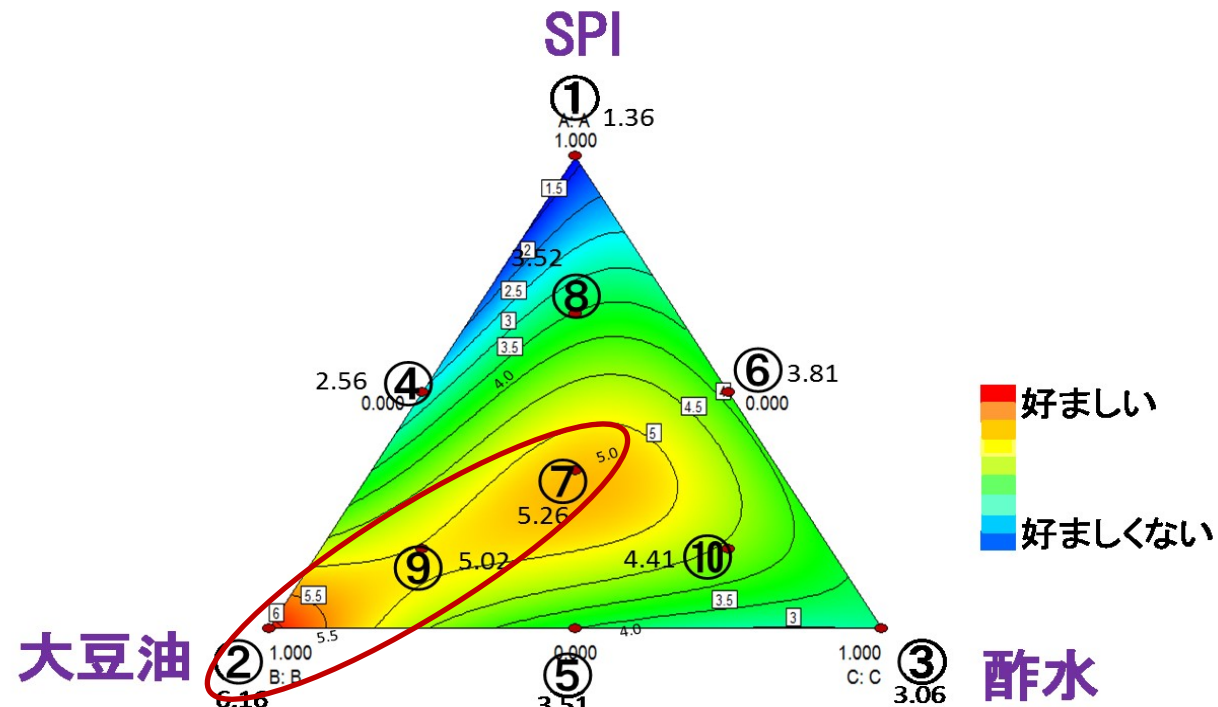


図 10 SPIB エマルション官能評価(嗜好)の3次推定曲線



■ ②、⑦、⑨が有意に好まれ、⑥は好まれる傾向を示した

【有意に好まれた配合比】

- ② SPI 4.0%、大豆油 55.0%、水36.0%、酢5.0%：ホイップクリーム様
- ⑦ SPI 10.4%、大豆油 42.3%、水42.3%、酢5.0%：マヨネーズ様
- ⑨ SPI 7.2%、大豆油 48.6%、水39.2%、酢5.0%：スプレッド様

図 11 SPIB エマルション嗜好・総合評価の3次推定曲線



表 3 総合評価と特性評価, 嗜好の相関

官能評価		
嗜好の総合評価	特性評価	嗜好
色	-0.791 **	0.771 **
硬さ	-0.271	0.985 **
滑らかさ	0.815 **	0.678 *
酸味	0.434	0.432
油味	0.595	0.914 **

表 4 官能評価と機器評価の相関

機器評価	官能評価の特性評価					官能評価の嗜好					総合評価
	色	硬さ	滑らかさ	酸味	油味	色	硬さ	滑らかさ	酸味	油味	
粒子径	-0.702 *	-0.566	-0.049	0.634 *	-0.029	0.601	0.111	-0.083	0.503	0.261	0.3928
硬さ	0.649 *	0.879 **	-0.344	-0.921 **	0.046	-0.799 **	-0.410	-0.104	-0.008	-0.400	-0.5641
付着性	0.410	0.878 **	-0.163	-0.794 **	0.381	-0.576	-0.165	0.067	-0.018	-0.216	-0.3667
pH	0.748 *	0.677 *	-0.252	-0.868 **	0.089	-0.879 **	-0.274	-0.124	0.056	-0.221	-0.4368
L*	-0.746 *	-0.525	0.503	0.671 *	0.383	0.813 **	0.603	0.391	0.157	0.543	0.6489 *
a*	0.754 *	0.664 *	-0.165	-0.871 **	-0.107	-0.808 **	-0.295	-0.069	0.107	-0.228	-0.4779
b*	0.715 *	0.360	-0.487	-0.514	-0.477	-0.776 **	-0.558	-0.421	-0.149	-0.458	-0.5786
色差(①基準)	-0.746 *	-0.507	0.499	0.654 *	0.399	0.814 **	0.594	0.390	0.151	0.527	0.6419 *
ハンター白度	-0.751 *	-0.551	0.479	0.711 *	0.341	0.830 **	0.575	0.366	0.098	0.503	0.6286
Th	0.605	0.880 **	-0.388	-0.819 **	0.006	-0.769 **	-0.416	-0.092	-0.060	-0.413	-0.6352 *
降伏値	0.4570	0.8328 **	-0.3463	-0.7582 *	0.2736	-0.7021 *	-0.3293	-0.0892	-0.0567	-0.3453	-0.5380
粘稠性係数	0.4062	0.6848 *	-0.0341	-0.6364	0.3905	-0.6256	0.0044	0.0642	0.0362	0.0542	-0.1585
流動性指数	0.3268	-0.0509	-0.4376	-0.2248	-0.1325	-0.1311	-0.6266	-0.5502	-0.4349	-0.7882 *	-0.5346

\*\* :危険率 1%

\* :危険率 5%

## 第3章 エマルションの調味および焼成

SPIB エマルションを用いて、調味料および小麦粉等の食材を添加して影響を検討することにより、非加熱調理食品のマヨネーズ様食品と、加熱調理食品のケーキ様食品について製造を試みた。

### 1. 実験方法

#### (1) エマルションの材料

SPIB, 大豆油, 酢, 水を用いて、乳化前に酢を添加する方法および、乳化後に酢を添加する方法にてエマルションを調製した。また SPIB の比較として、加水分解処理を行っていない SPIA を用いて同様にエマルションを調製した(第1章, 参照)。

#### (2) エマルションおよびケーキの調味・焼成材料

エマルションの調味材料として穀物酢(ミツカン(株):以下食酢と示す), 食塩(日本たばこ産業(株)), 上白糖(日新製糖(株):以下砂糖と示す), ホワイトペッパー (GABAN Co., Ltd.), ターメリック (GABAN Co., Ltd.), グルタミン酸 Na (MC food Specialties Inc.), からし(富澤商店), ケーキの焼成材料の粉として薄力粉(日清フーズ(株)), 米粉(うるち米:富澤商店(株)), ベーキングパウダー(愛国産業(株):以下 BP と示す), 油脂として大豆油のほかに, サラダ油(日清オイリオグループ(株)), ココナッツ油, ゴマ油, エゴマ油(富澤商店(株)), 食塩不使用バター(明治 KY(株)), マーガリン(日油(株)), アマニ油(日本製粉(株)), オリーブオイル(味の素(株)), 香料としてオレンジオイル, バニラオイル (ナリズカコーポレーション(株)), 糖として上白糖のほかに, グルコース, フルクトース, マルトース, キシリトール(和光純薬工業(株)), トレハロース(林原(株)), マルトトリオース (ピュアトース:群栄化学工業(株)), エリスリトール(バブルスター(株))を使用した。

#### (3) 非加熱調理食品の調製法

##### 1) 調味料の添加方法

SPIB, 大豆油, 酢, 水を用いて、乳化後に酢を添加する方法にて調製したエマルションに、ホイッパーを用いて、120rpm(1分間120回)で手動攪拌しながら調味料を添加した。

## 2) 砂糖の添加方法

表 1 に記す⑦の配合で調製した SPIB のエマルジョンに対し砂糖 15.0%および 30.0%を配合し、ホイッパーを用いて 120rpm(1 分間 120 回)で手動攪拌しながらエマルジョンに添加した(砂糖後添加)。また同量の配合で、SPIB に砂糖を混合後水に懸濁し、乳化後酢を添加してエマルジョンを調製する添加法(砂糖前添加)についても併せて行った。また、比較として SPIA についても同様に行った。

## 3) エマルジョンの pH の測定

pH メーターを用いて測定した(第 1 章, 参照)。

## 4) エマルジョンの流動特性の測定

コーンプレート型回転粘度計により、流動曲線を測定し、チキソトロピー特性値  $Th$  (以後、 $Th$  と略)を求めた(第 2 章, 参照)。

## 5) マヨネーズ様食品の調製法

SPIB のエマルジョン⑦(表 1 参照) 85g に砂糖 3g, 食塩 1g, 食酢 9g, ホワイトペッパー 0.2g, ターメリック 0.2g, グルタミン酸 Na 0.3g, からし 1.3g を添加して全量を 100g とし、ホイッパーを用いて 120rpm(1 分間 120 回)で手動攪拌した。また同配合において、SPIB に砂糖を混合後水に懸濁し、乳化後酢を添加して調製したエマルジョンに残りの食塩, 食酢, ホワイトペッパー, ターメリック, グルタミン酸 Na, からしを添加したものも併せて調製して形状を比較した。嗜好については、愛国学園教職員専門パネルに対する聞き取り調査にて評価した。

## (4) 加熱調理食品の調製法

### 1) エマルジョンの加熱と砂糖の添加方法

SPIB のエマルジョン①~⑩(表 1 参照)をシリコンカップに 20g 絞りだし、170℃で 12 分間加熱した。砂糖添加エマルジョンは、エマルジョン重量に対して 30%の砂糖を SPIB に混合し、水に懸濁した後、乳化後酢を添加してエマルジョンを調製し、170℃で 12 分間加熱した。

## 2) ケーキ様食品の調製方法

SPIB 11g に糖 0～30g を混合後、水 32g に懸濁し、油脂 5～22g で乳化後酢 5g を添加してエマルションを調製し、これに薄力粉または米粉 25g、BP 0～4g を添加し、120rpm(1分間 120回)で手動攪拌・混合した。これをアルミカップ(菊型 2号：富澤商店(株))に 20g 計量し、160℃で 20分間焼成してケーキとした。香料として油脂にオレンジオイルまたは、バニラオイル 0.2g 添加したのも同様に焼成した。

## 3) 官能評価

官能評価は、7段階評点法を用いて特性評価と嗜好の官能評価を行った。特性評価項目は色、油っぽさ、粉っぽさ、大豆の味、硬さ、もろさ、飲み込みやすさの 7項目とし、嗜好はこれに総合評価を加えて 8項目とした。統計解析は二元配置分散分析法を用い、試料間の差の検定は、Scheffé法による多重比較により行った。その他の評価は円卓法による評点法と自由記述によった。

## 2. 実験結果

### (1) エマルションに対する砂糖添加の影響

#### 1) SPB エマルションに対する砂糖添加の影響

乳化後酢を添加して調製した SPIB エマルション⑦の砂糖無添加と砂糖 15.0%と 30.0%添加エマルション(以後、砂糖後添加と略す)の流動曲線を図 12 に示す。砂糖後添加エマルションの流動曲線は、砂糖の添加量が多くなるに従い、ずり応力が低下し、擬塑性流体からニュートン流体に変化した。次に同じ配合で、対エマルション 30.0%の砂糖を SPIB に混合後水に懸濁し、乳化後酢を添加して調製したエマルション(以後、砂糖前添加と略す)の形状と流動曲線を図 13 に示す。砂糖 30.0%を前添加したエマルションの流動曲線は、砂糖無添加エマルションの流動曲線と比較して、降伏値が低下し、最大ずり速度でのずり応力がやや低下する傾向がみられたが、 $T_h$  に大差はなく、砂糖無添加エマルションと同様の形状と保形性を有するエマルションを調製できることがわかった。これらエマルションに分離は見られず安定であった。また、砂糖前添加エマルションを調製する際、SPIB に砂糖を混合してから水に懸濁することにより、SPIB が部分的に水を吸収することを抑制し、水への懸濁が容易になることを見出した。これらの結果から、SPIB エマルションの保形性は砂糖後添加することにより阻害されたが、砂糖前添加により保形性を有するエマルションを調

製できた。

## 2) SPIA および SPIB エマルションの比較

⑦の配合による SPIA の砂糖無添加エマルションと SPIA の 30.0%砂糖前添加エマルションと SPIA の 30.0%砂糖後添加エマルションの形状と流動曲線を図 14 に示す。SPIA 砂糖無添加エマルションは、SPIA が硬い凝集物として油に分散した状態を示して不均一であり、保形性は示さなかった。流動曲線からは、粘度は高いが、不均一な滑る性状を有すると考えられた。SPIA の 30.0%砂糖前添加エマルションは、絞り出しが可能であるものの、徐々に液体が分離し形状は不安定であった。また、SPIA の 30.0%砂糖後添加エマルションは、SPIA 砂糖無添加エマルションほどではないものの、SPIA の軟らかい凝集物が油中に分散した状態で不均一であり、保形性は示さなかった。先に図 13 に記した SPIB の砂糖無添加および 30.0%砂糖前添加エマルションは、同じような保形性と擬塑性流動を示して安定であり、SPIA とは大きく異なっていた。SPIA についても砂糖の混合により、水への懸濁が容易になる現象を確認した。しかし、エマルション⑦の配合において、SPIA は加水不足であり、加水分解処理の SPI B に比べて、A の方が懸濁により多くの水を必要とした。

### (2) マヨネーズ様食品製造の試行

SPIB エマルションの非加熱食品への利用の試行として、砂糖前添加と後添加で調製したマヨネーズ様食品を図 15 に示す。砂糖後添加マヨネーズ様食品として、SPIB エマルション⑦85%に砂糖、食塩、食酢、カラシ、ホワイトペッパー、ターメリック、グルタミン酸 Na を混合して調製した pH4.7 のマヨネーズ様食品は、保形性を有していなかった。一方、砂糖前添加マヨネーズ様食品として、砂糖前添加の SPIB エマルション⑦に上記と同じ調味料を混合したマヨネーズ様食品は若干構造が弱いものの、絞り出した形状を保持する保形性を有していた。このマヨネーズ様食品は SPIB 濃度 8.84%に対し、酢と食酢を合計して 13.25%濃度の酢を配合したが、分離はみられず、マヨネーズに適合する形状を有した。

### (3) ケーキ様食品製造の試行

表 1 の配合比で調製した SPIB エマルション①～⑩と、30.0%砂糖前添加した SPIB エマルション①～⑩を 170℃で 12 分間加熱した。砂糖無添エマルションの焼成後の形状を図 16 の左に、砂糖前添エマルションの焼成後の形状を図 16 の右に示す。砂糖無添加において、

SPIB の配合比が高く硬い形状を示したエマルション①, ④, ⑧の焼成物は, 表面のみが焼成され, 中心部は未焼成で粘土状であった. また, 高い保形性を示したエマルション②, ⑥, ⑦, ⑨は焼成後, 薄い豆腐状の物質が油中に浮遊する形状を有した. エマルション③, ⑤, ⑩は焼成後, 粒状物が溶液中に浮遊する形状であった. これら砂糖無添加の SPIB エマルションの焼成物は軟らかく弱い上, 完全に焼成することは困難で, 単独で加熱食品へ利用することは難しいと考えた. 一方, 図 16 の右側に示す 30.0%砂糖前添加では, ③, ⑤, ⑩を除いた他のエマルションの焼成物は, それらの表面に薄い膜と中心部に軟らかい物質を形成した. また中心部の軟らかい物質は SPIB の配合比が高くなるほど多く, 密になった.

この結果をもとに, 砂糖前添加 SPIB エマルションに薄力粉とベーキングパウダー (BP) を配合してケーキの焼成を試みた. エマルション⑦から水と油脂の減量を行い, 砂糖 10~30g, SPIB 11g, 水 32g, 油脂 10~22g, 酢 5g を用いて, SPIB に砂糖を混合後, 水に懸濁し, 油脂で乳化後, 酢を添加してエマルションを調製し, これに薄力粉または米粉 25g と BP 4g を加えて味の異なる 4 つのケーキを焼成した. この 4 つと材料を全部一緒に混合して焼成したケーキ, 砂糖を粉, BP と一緒にエマルションに混合して焼成したケーキ, 砂糖の半量をエマルション調製時に混合し, 残りの半量を粉, BP とともに混合して焼成したケーキの官能評価をした (図 17). 4 つのケーキはいずれも大豆の味, 油っぽさ, 粉っぽさの項目でないと評価され, 飲み込みやすさが有意であると評価された. 嗜好では, 油っぽさ, 大豆の味, 硬さの項目において好まれ, 総合評価においてエマルション未調製のケーキに比べて 5%の危険率で有意に好まれた.

### 3. 考察

SPI を水に懸濁し乳化後酢を添加して調製したエマルションは, 部分加水分解 SPIB を用いることにより保形性と安定性に優れたエマルションを形成した. このように乳化後酢を添加して調製した SPIB エマルションは, 油滴上に配された SPIB が酢により変性し凝集することによりおこると考えられるが, これに調味の為に砂糖を添加すると, 砂糖の添加量が多くなるに従いエマルションはニュートン流動を示すようになり保形性は失われた. 酵素無処理の SPIA についても同様に, 砂糖無添加 SPIA エマルションに対して, 砂糖を前添加した SPIA エマルションに粘度の低下がみられた. これは, SPI に弱く結合している水が砂糖と結合して, 分散粒子の外側に来ることによりエマルションを流動性のあるものに変えられられる. SPIB は, 砂糖を加えて乳化し

てから酢を添加することによりエマルションの形状の変化を抑制することができ、SPIA では、砂糖を加えて乳化してから酢を添加することにより、徐々に液体が分離し不安定ではあるが絞り出した状態を一時的に保持する保形性を示した。おそらく砂糖はSPIの親水部分と結合することにより、疎水部分と油滴との結合を容易にし、酢の添加により凝集すると考えられ、小分子量成分が多数存在するSPIBの方がより緻密な凝集体を形成するため、エマルションの保形性や安定性が高くなると考えられる。SPIAについても砂糖前添加することにより、酢による凝集を均質に行うことができるようになるが、分子量が大きいため凝集は粗く、油や水を保持することが出来ず、不安定なエマルションを形成すると推察される。砂糖はSPIに混合することによりSPIが部分的に水を吸収することを抑制し、SPIの水への懸濁を容易にする。SPIB砂糖無添加エマルションとSPIB砂糖前添加エマルションが同様の物性と安定性を示したことは、SPIB砂糖無添加エマルションは配合すべき水量に余裕があり、SPIBに砂糖を配合することにより、懸濁に必要な水量の減少が可能になると考える。さらにエマルションに対する水の配合量の減少は、同時にエマルションに配合する油脂の減少を可能とする。

このように、部分加水分解したSPIであるSPIBに砂糖を添加して乳化後酢添加して調製したエマルションに調味料として食酢、食塩、カラシ、ホワイトペッパー、ターメリック、グルタミン酸Naを混合・調整したマヨネーズ様食品はマヨネーズに適する形状を示した。この結果は砂糖を前添加してエマルションを調製することにより、安定剤や増粘剤を使用することなくSPIを高配合してマヨネーズ様食品を調製できる可能性を示す。

一方、エマルションの加熱食品への利用として、SPIBを水に懸濁し乳化後酢を添加して調製したエマルションの焼成物は、柔らかで弱く生焼けの状態であったが、砂糖をSPIBに混合後乳化し、酢を添加する方法で調製したエマルションの焼成物は表面に膜が形成され、内部に柔らかい組織を形成した。砂糖前添加エマルションを加熱することにより形成された連続した柔らかい組織は、SPIBの配合比が高い方が多く、SPIBと砂糖の結合が焼成に有効に作用していると考えられる。SPIBの配合比を高めるためには、水と油を減少させる必要があり、砂糖を前添加してエマルションを調製することにより、SPIBの懸濁に必要な水と乳化に必要な油脂を減少することが可能である。

SPIBに砂糖を混合することにより水と油脂を減量したエマルションに、エマルション成分として糖や油脂、エマルション以外のケーキの成分として小麦粉や米粉、ベーキ

ングパウダーおよび香料について添加する種類を変えてケーキを調製し、官能評価によって好ましい食材を選択することにより、蒸ケーキのような形状を示し、軟らかく、しっとりとした食感があり、大豆臭は認められないケーキ様食品を得た。この結果は、砂糖を前添加してエマルジョンを調製することにより SPI を高配合した嗜好性のある柔らかいケーキ様食品を調製できる可能性を示す。



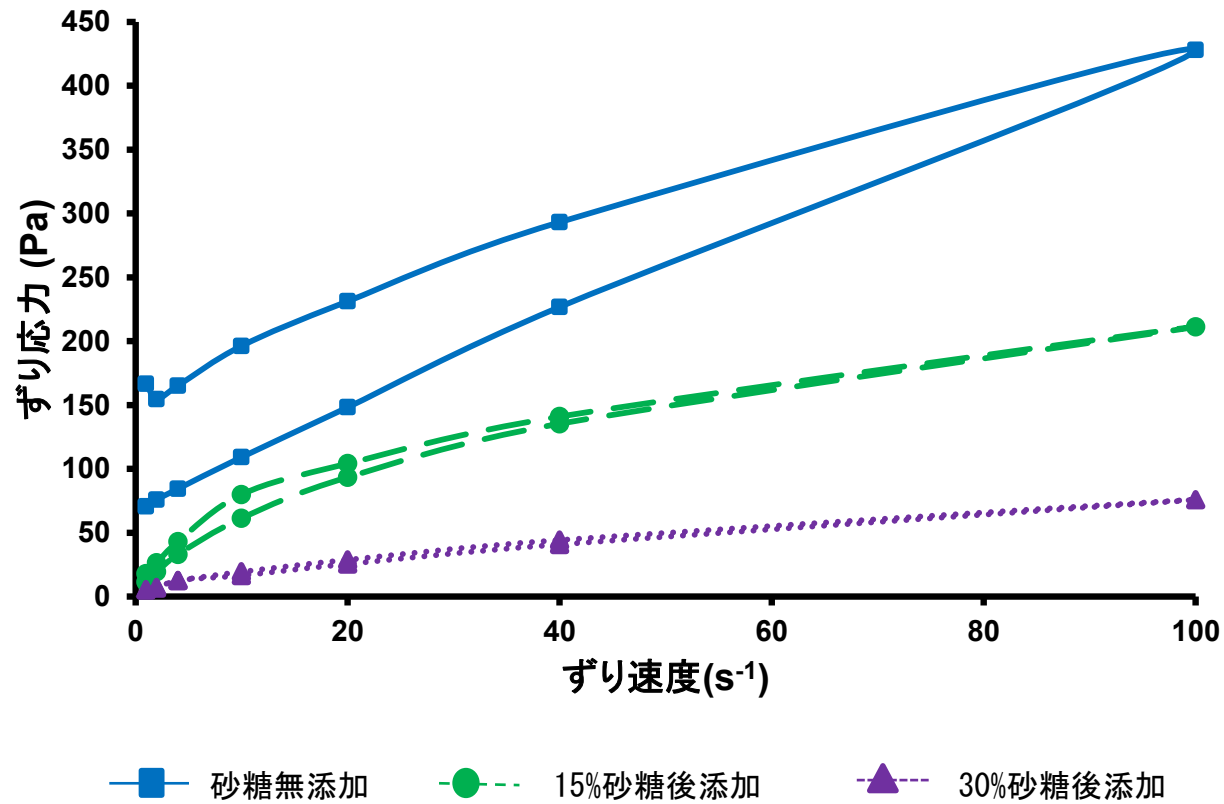


図 12 SPIB エマルション⑦に対する砂糖後添加量の影響

砂糖無添加 : 乳化後酢添加してエマルション調製

15%砂糖後添加: 砂糖無添加エマルションに対し 15%砂糖を添加

30%砂糖後添加: 砂糖無添加エマルションに対し 30%砂糖を添加

エマルションはいずれも pH5.2

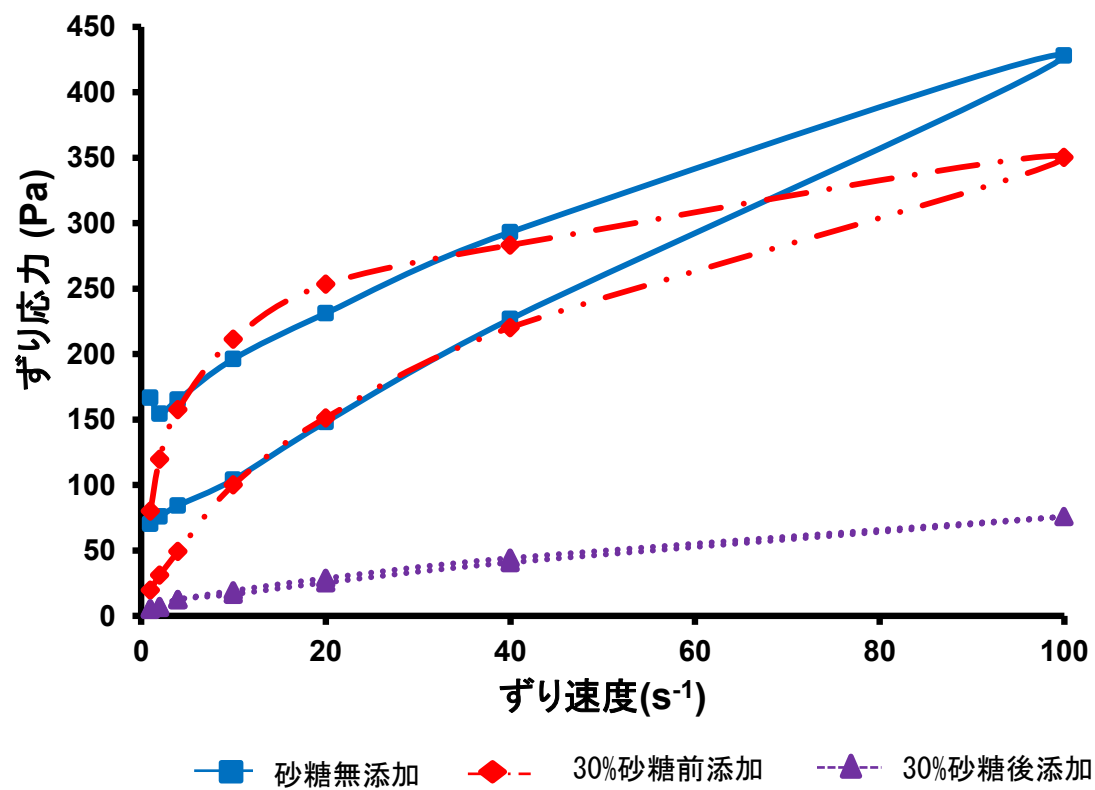


図 13 SPIB エマルション⑦に対する砂糖添加方法の影響

砂糖無添加 : 乳化後酢を添加してエマルション調製

30%砂糖前添加 : 30%の砂糖を SPIB に混合, 水に懸濁, 乳化後酢を添加

30%砂糖後添加 : 砂糖無添加エマルションに対し 30%砂糖を添加

エマルションはいずれも pH5.2

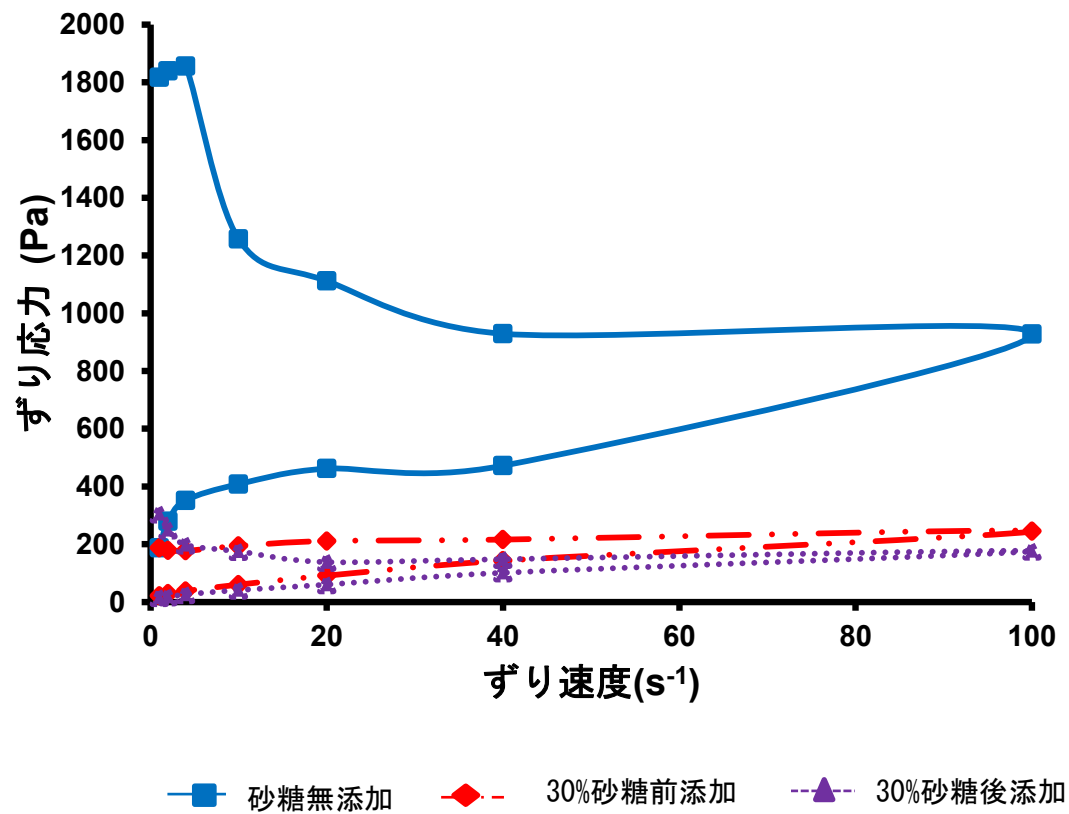


図 14 SPIA エマルション⑦に対する砂糖添加方法の影響

エマルションはいずれも pH5.2

⑦エマルション	SPIB	8.84	85.00
	大豆油	35.95	
	酢	4.25	
	水	35.96	
砂糖			3.00
食酢			9.00
食塩			1.00
からし			1.30
ホワイトペッパー			0.20
ターメリック			0.20
グルタミン酸Na			0.30
合計			100.00g (pH4.7)

砂糖前添加



砂糖後添加



図 15 マヨネーズ様食品製造の試行

砂糖前添加： 砂糖前添加 SPIB エマルションに調味料を混合

砂糖後添加： 砂糖無添加 SPIB エマルションに砂糖と調味料を混合

砂糖無添加エマルジョン

SPIB 最大

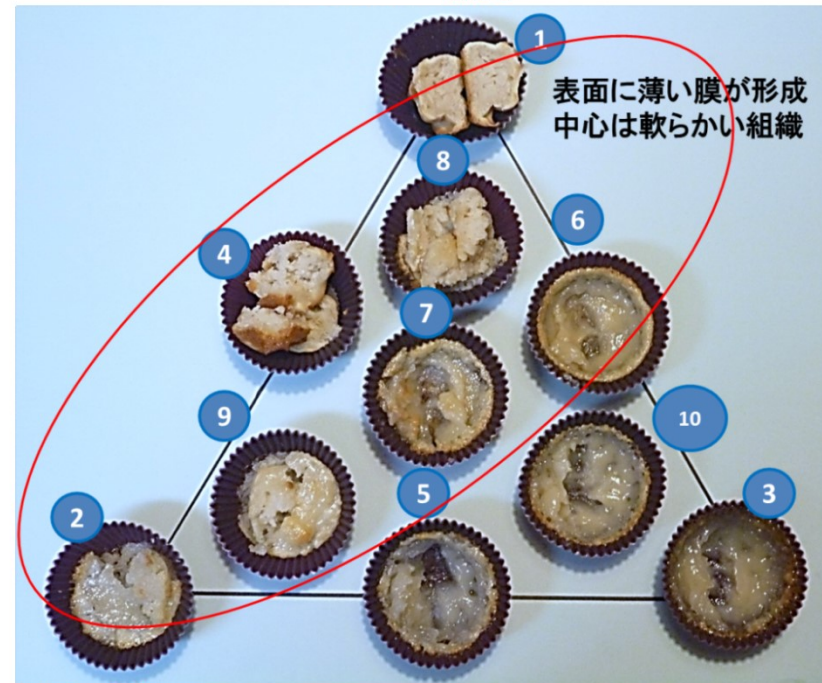


大豆油 最大

酢水 最大

30%砂糖前添加エマルジョン

SPIB 最大



大豆油 最大

酢水 最大

図 16 SPIB エマルジョンの焼成による形状の変化

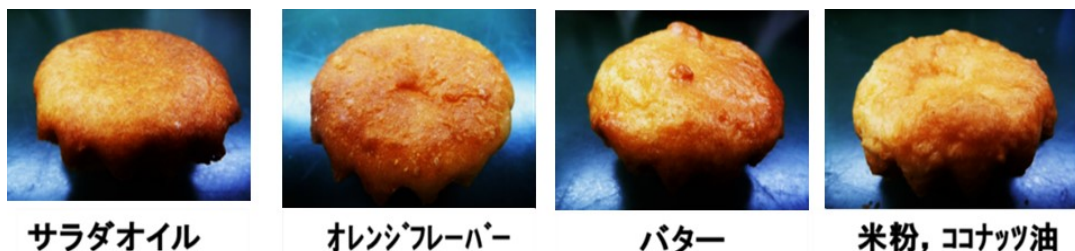
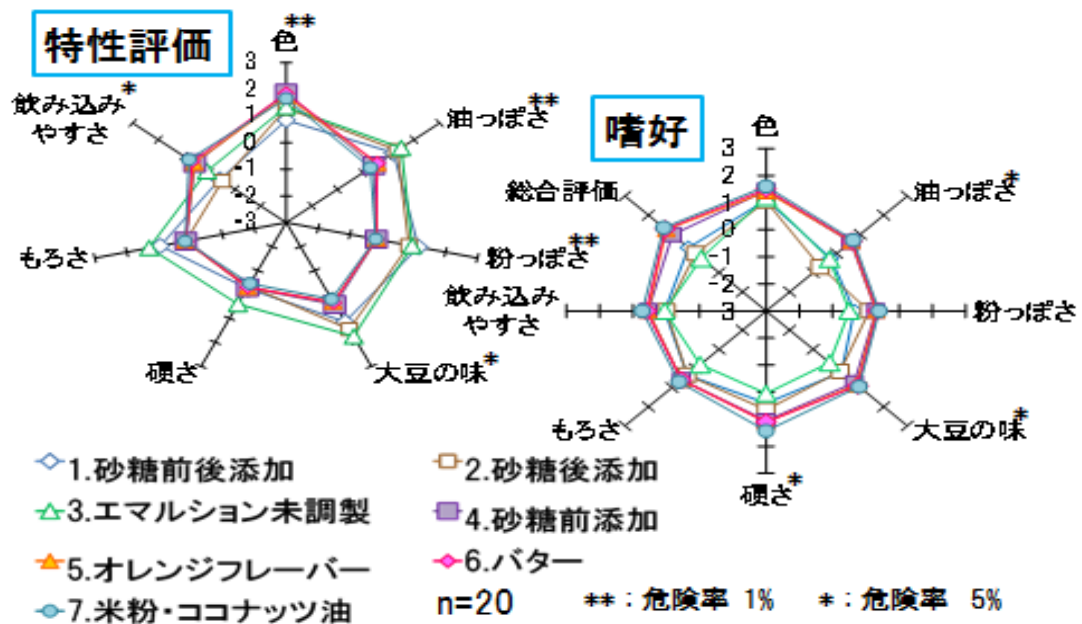


図 17 SPIB エマルジョンケーキの官能評価

- サラダオイル:SPB11g, 砂糖 20g を混合, 水 32g に懸濁, サラダ油 22g で乳化, 酢 5g 添加してエマルジョン調製し, これに薄力粉 20g, BP4g 混合, 焼成
- オレンジフレーバー: a のサラダ油にオレンジオイル 0.2g 配合, 同様に焼成
- バター: サラダ油をバターに変えて同様に焼成
- 米粉、ココナッツ油: a の砂糖を 10g に, サラダ油をココナッツ油 10g に, 小麦粉を米粉に変更し同様に焼成
  - ・砂糖前添加: SPIB11g, 砂糖 30g 混合, 水 32g に懸濁, サラダ油 22g で乳化, 酢 5g 添加してエマルジョン調製し, これに薄力粉 20g, BP4g 混合, 焼成
  - ・砂糖後添加: 砂糖前添加配合で砂糖を小麦粉, BP とともにエマルジョンに混合, 焼成
  - ・砂糖前後添加: 砂糖前添加配合で砂糖 15g を前添加してエマルジョンを調製し, 残りの 15g の砂糖と小麦粉, BP を混合, 焼成
  - ・エマルジョン未調製: 砂糖前添加ケーキの配合ですべての材料を混合, 焼成



## 第4章 総括

市販大豆たん白素材の新たな調理技術の開発により，一般家庭および新しい食品加工分野での大豆タンパク質の利用を目的として本研究を実施した．具体的には，分離大豆タンパク質(SPI)の乳化物として，酢を使うドレッシング，ディップ様の食品を考え，油脂，酢，水を材料として，部分加水分解したSPIの乳化性を調製条件・方法から検討した．また，得られたSPIの乳化物の利用としてマヨネーズ様非加熱食品，ケーキ状加熱食品の製造を試行した．

SPI，酢，大豆油，水を原料として調製したエマルションの性質を酢の添加量および添加順序を変えて調べた．部分加水分解したSPIBは，乳化後，酢を添加することにより，加水分解していないSPIAに比べて，高い保形性および安定性と滑らかな物性を持つエマルションを調製できることが分かった．このように調製したSPIBエマルションは部分加水分解したSPIBが油滴上で酢により凝集することによりおこり，酵素処理による生成した小分子量成分がエマルションの形成に有効的に作用していると考えられる．SPIBの凝集は，SPIB 1.5～12.0%の範囲において，酢 1.0～10.0%を配合することにより起こり，乳化後酢添加する方法でエマルションを調製することで異なるテクスチャーのエマルションを調製できることが分かった．

SPIB，大豆油および酢と水の適当な配合比を調べるために，Schefféの単純格子計画法を適用して，10種類の配合比で作られるエマルションの流動特性，テクスチャー，粒子径，色調，pHの測定および官能評価により，安定した保形性を持つ混合比は部分加水分解SPIB；4.0～16.7%，大豆油；36.0～55.0%，酢；5.0%，水；36.0～45.5%の範囲にあることが分かった．これらはすべて擬塑性流動を示した．エマルションのチキソトロピー特性値，降伏値，粘稠性係数，流動性指数などの値は配合比により変わり，ホイップクリーム様，マヨネーズ様，クリームチーズ様などの乳化特性を示した．混合比が部分加水分解SPI；10.4%，大豆油；42.3%，酢；5.0%，水；42.3%のエマルションは，それが大豆たん白利用食品として相応のタンパク質含量を持ち，平均粒子径や流動性指数など物性値が適当なことから後の実験に選択した．

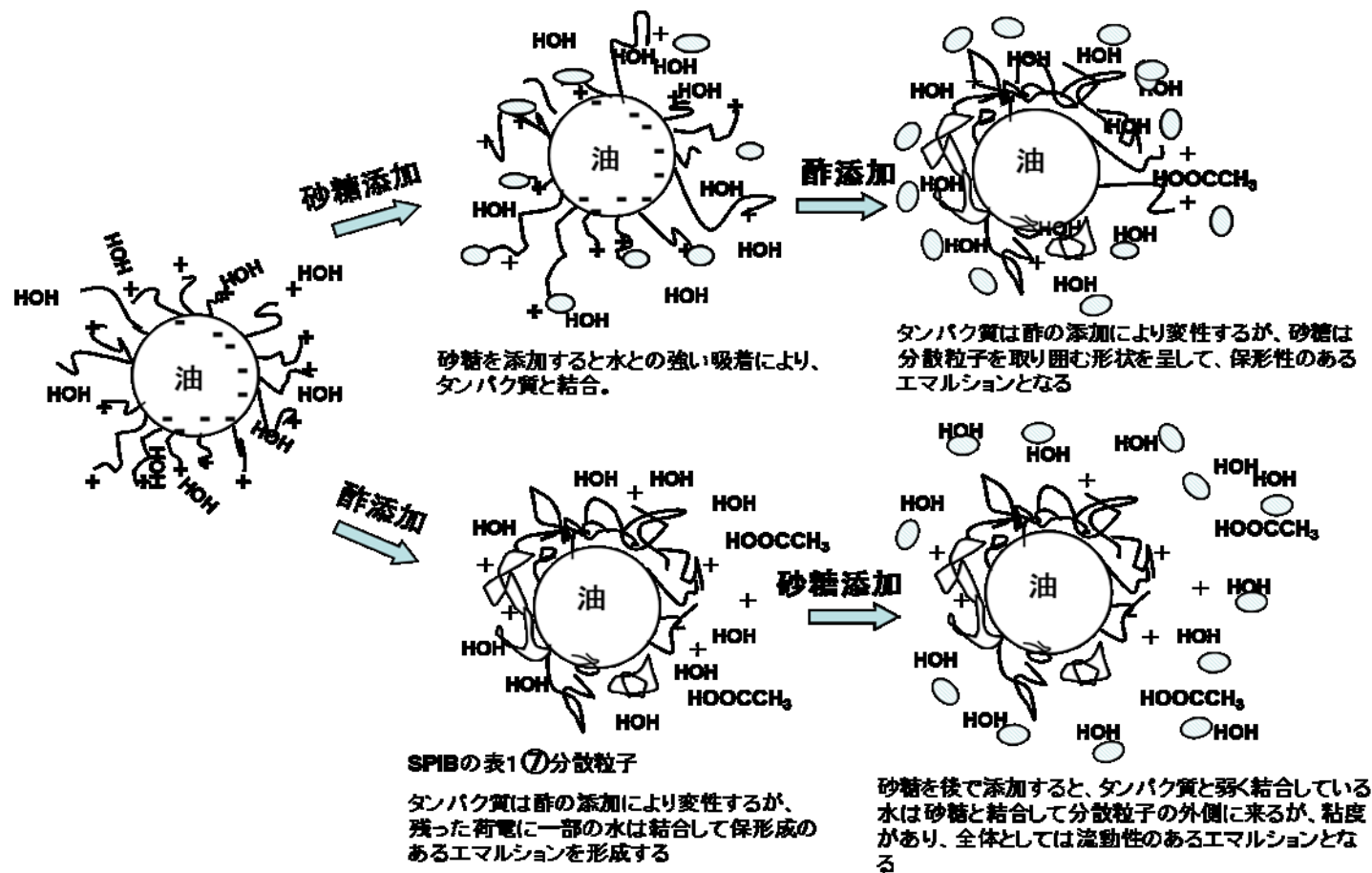
配合比が部分加水分解 SPI ; 10.4%, 大豆油 ; 42.3%, 酢 ; 5.0%, 水 ; 42.3%とし、乳化後酢を添加して調製したエマルションである SPIB エマルションを用いて、調味料および小麦粉等食材の添加物の影響を検討することによりマヨネーズ様食品と、ケーキ様食品について製造を試みた。この SPIB エマルションに砂糖を添加すると、砂糖の添加量が多くなるに従いニュートン流動を示すようになり保形性は失われた。しかし、砂糖を加えて乳化してから、酢を添加することによりエマルションの形状の変化を抑制することができた。SPI に砂糖を混合することにより、水への懸濁が容易になる現象より、SPI の親水部分と砂糖が結合することにより SPI の疎水部分と油滴との結合を容易になり、酢の添加により SPI が凝集すると考えられ、小分子量成分が多数存在する SPIB の方が、より緻密な凝集体を形成するため、エマルションの保形性や安定性が高くなると考えられる。SPIB エマルション(砂糖無添加)と SPIB に砂糖加えて乳化してから、酢を添加したエマルション(砂糖前添加)の形状に差が無いことは、砂糖前添加エマルションは配合すべき水量に余裕があり、SPIB に砂糖を配合することにより、懸濁に必要な水量の減少が可能になると考えた。砂糖前添加エマルションの SPIB の配合比が高いものは焼成が可能であったので焼成菓子やマヨネーズ様食品を試作した。

SPIB エマルションの非加熱食品への利用の試行として、砂糖前添加した SPIB エマルションに食塩、食酢、カラシ、ホワイトペッパー、ターメリック、グルタミン酸 Na を混合して安定剤や増粘剤無添加のマヨネーズ様食品を試作した。また、SPIB エマルションの加熱食品への利用の試行として、砂糖前添加することにより水と大豆油の減量を行い、SPIB エマルションに小麦粉やベーキングパウダーを加えて焼成する構造が緻密で軟らかいケーキの調製を検討した。エマルション成分として糖や油脂、エマルション以外のケーキの成分として小麦粉や米粉、ベーキングパウダーおよび香料について添加する種類を変えてケーキを調製し、官能評価によって好ましい食材を選択することにより、蒸ケーキのような形状を示し、軟らかく、しっとりとした食感があり、大豆臭は認められないケーキ様食品を試作した。

SPI は、一般に流通されておらず、製品情報も特許により守られており、不明の部分が多い。増量剤的位置づけの製品ではあるが、製品の機能は向上しており、利用方法が明確化されれば、用途の拡大も期待できる。



本研究の部分加水分解 SPI を用いたエマルションの酢と砂糖の作用機構については図 18 のように考えているが、今後の研究の中で検討する必要がある。



大豆タンパク質、○;砂糖、HOH;水、HOOCCH<sub>3</sub>;酢酸を示す。上図において、油滴に対してSPIBのタンパク質(分子量は異なるものがある)および砂糖の表示サイズは模式的に大きく示している

図 18 SPIB エマルションにおける酢及び砂糖の作用模式図

## 謝 辞

本研究の遂行および論文の作成に懇篤なご指導，ご鞭撻を賜りました共立女子大学家政学部食物栄養学科食品学研究室村上昌弘教授に心から深甚なる感謝の意を捧げます。

本研究全般にあたり，ご懇切にご指導くださりました愛国学園短期大学副学長平尾和子教授に厚く御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり，貴重なご助言とご懇切にご指導，ご鞭撻くださりました愛国学園短期大学斎尾恭子特任教授に心から感謝の意を捧げます。

電気泳動の実験をご指導，ご協力いただきました愛国学園短期大学非常勤講師廣瀬理恵子先生に厚く御礼申し上げます。

シェッフエの推定曲線の作図をご指導，ご協力いただきました愛国学園短期大学准教授前田康智先生に深く御礼申し上げます。

本実験に協力いただきました愛国学園短期大学講師三星沙織先生，非常勤講師米山陽子先生に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり，試料の提供をしていただきました不二製油株式会社に深甚なる謝意を表します。また貴重な御助言をいただきました不二製油株式会社芦田茂氏，釘宮渉氏に深く感謝申し上げます。

本研究の一部は，公益財団法人不二たん白質研究振興財団の研究助成により実施いたしました。

## 引用文献

- 1) 喜多村啓介,「大豆のすべて」,(サイエンスフォーラム,東京),pp. 4-12, pp. 14-19, pp. 154-326, pp. 388-401, pp. 406-412, pp. 484-500 (2010).
- 2) 渡辺篤二,「大豆食品」,(光琳,東京),(1999).
- 3) 森田雄平,「大豆蛋白質」,(光琳,東京),pp. 1-6, pp. 82-100 (2006) .
- 4) 菊池三郎,「大豆タンパク物語」,(光琳,東京),pp. 151-158 (1990).
- 5) 農林水産省/大豆関連データ集, <http://www.maff.go.jp>
- 6) 石渡尚子,大豆の消費拡大にむけて,食品と科学, **6**, 59-64 (2012).
- 7) 斎尾恭子,人類にとってかけがえのない食用マメ類の世界—その利用と栄養—,国際農林協力, **39** (1), 2-11 (2016).
- 8) 喜多村啓介,「大豆のすべて」,(サイエンスフォーラム,東京),pp. 112-120, (2010).
- 9) 山内文男,大久保一良,「大豆の科学」,(朝倉書店,東京),pp. 134-194 (2004).
- 10) 渡辺篤二,斎尾恭子,橋詰和宗,大豆タンパク食品の種類と製造方法,「大豆とその加工 I」,(建帛社,東京),pp. 229-308 (1987).
- 11) 斎尾恭子,大豆蛋白質の変性と食品,日本食品工業学会誌, **20**, 374-385 (1973).
- 12) 佐本将彦ら,大豆を原料とした新素材の開発,「大豆のすべて」,喜多村啓介ら編,(サイエンスフォーラム,東京),pp. 405-489 (2010).
- 13) [http://www.protein.or.jp\(2015.11.5\)](http://www.protein.or.jp(2015.11.5))
- 14) 菅野道廣,ダイズタンパク質の血漿コレステロール低下作用とリノール酸代謝調節効果,「ダイズのヘルシーテクノロジー」,河野幸雄,大久保一良編,(光琳,東京),pp. 59-72 (1998).
- 15) 河野光登,廣塚元彦,大豆β-コングリシニンによるメタボリックシンドローム予防・改善効果,ニューフードインダストリー, **49** (11), 9-20 (2007).
- 16) 消費者庁許可,コレステロールが高めの方の食品,中性脂肪が気になる方の食品,「特定保健用食品[トクホ]ごあんない 2014年版」,公益財団法人日本健康・栄養食品協会特定健康用食品部,pp. 25-28, pp. 49
- 17) 小竹佐智子,木村あゆみ,畑江敬子,島田淳子,粒状組織化大豆タンパク質の調味操作中の物性変化に及ぼす内部構造の影響:粒状組織化大豆タンパク質の調味特性(第2報),日本家政学誌, **41**, 1039-1047 (1990).

- 18) 芦田茂,大豆たん白を調理に取り入れる,日本調理学会誌, **45**, 235-236(2012).
- 19) 平尾和子,濱西知子,五十嵐喜治,高橋節子,サゴ澱粉ブラマンジェのテクスチャー特性および官能評価に及ぼす材料配合比の影響,日本家政学会誌, **53**, 659-669(2002).
- 20) 平尾和子,渡辺篤二,高橋節子,ブラマンジェ様澱粉ゲルの物性および官能評価に及ぼす大豆タンパク質添加の影響(第1報):添加量,添加方法の影響,日本家政学会誌, **54**, 457-468(2003).
- 21) 町田優子,平尾和子,梅國智子,斎尾恭子,粉末大豆を使用した栄養素強化食品の開発,愛国学園短期大学紀要, **26**, 5-16(2009).
- 22) 平尾和子,大豆臭の少ない大豆たん白クッキー製造に関する調理学的研究,大豆たん白質研究, **15**, 125-132 (2012).
- 23) 町田優子,平尾和子,梅國智子,斎尾恭子,大豆たんぱく質製品の家庭調理食品への利用適性,愛国学園短期大学紀要, **27**, 11-21(2010).
- 24) Puski, A., Review of Methodology for Emulsification Properties of Plant Proteins. *Cereal Chem*, **53**, 650-655(1976 ).
- 25) 青木宏,長野広子,大豆タンパクの乳化特性に関する研究(第1報)乳化特性におよぼす基本的因子について,日本食品工業学会誌, **22**, 320-324(1975).
- 26) 長野広子,青木宏,大豆タンパク各区分の乳化特性,大妻女子大学家政学部紀要, **12**, 43-49(1976).
- 27) Roesch, R. R. and Corredig, M., Characterization of oil-in-water emulsions prepared with commercial soy Protein concentrate. *J. Food Sci.*, **67**, 2837-2842(2002).
- 28) Palazolo, G. G., Sorgentini, D. A. and Wagner, J. R., Coalescence and flocculation in o/w emulsions of native and denatured whey soy proteins in comparison with soy protein isolates. *Food Hydrocolloids*, **19**, 595-604(2005).
- 29) Keerati-u-rai, M. and Corredig, M., Heat-induced changes in oil-in-water emulsions stabilized with soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, **23**, 2141-2148(2009).
- 30) Aoki, H., Taneyama, O. and Inami, M., Emulsifying properties of soy protein: Characteristics of 7S and 11S proteins. *J. Food Sci.*, **45**, 534-538(1980).

- 31) 青木宏, 松浦英子, 大豆タンパクの乳化特性に関する研究(第2報)部分分解の効果について, 日本食品工業学会誌, **23**, 26-31(1976).
- 32) Ochiai, K., Kamata, Y. and Shibasaki, K., Effect of tryptic digestion on emulsifying properties of soy protein. *Agric. Biol. Chem.*, **46**, 91-96(1982).
- 33) Kamata, Y., Ochiai, K. and Yamauchi, F., Relationship between the properties of emulsion systems stabilized by soy protein digests and the protein conformation. *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 1147-1152(1984)
- 34) Kim, S. Y., Park, P. S. W. and Rhee, K. C., Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 651-656 (1990).
- 35) Were, L. M., Hettiarachchy, N. S. and Kalapathy, U., Modified soy proteins with improved foaming and water hydration properties. *J. Food Sci.*, **62**, 821-824(1997).
- 36) [http://www.maff.go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/kikak\\_tanpak\\_150327.pdf](http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikak_tanpak_150327.pdf)
- 37) 星祐二, 加茂谷富美江, 金沢篤子, 斎藤順子, 佐藤明美, 佐藤祐美, 早坂ゆかり, 市販分離大豆タンパク(4種類)の機能特性と構造について, 宮城学院女子大学生活科学研究所研究報告. **23**, 1-9(1991).
- 38) Laemmli, U. K., Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685(1970).
- 39) Fontes, E. P. B., Moreira, M. A., Davies, C. S. and Nielsen, N. C., Urea-elicited changes in relative electrophoretic mobility of certain glycinin and  $\beta$ -conglycinin subunits. *Plant physiol.*, **76**, 840-842(1984).
- 40) Guo, S. T., Ono, T. and Mikami, M., Interaction between protein and lipid in soybean milk at elevated temperature. *J. Agric. Food chem.*, **45**, 4601-4605 (1997).
- 41) Shen, J. l., Solubility profile, intrinsic viscosity, and optical rotation studies of acid precipitated soy protein and of commercial soy isolate. *J. Agric. food chem.*, **24**, 784-788(1976).
- 42) Scheffé, H., Experiments with mixtures. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, **20**, 344-360(1958).

- 43) 中浜信子, 大沢はま子, 赤羽ひろ, 品川弘子, マヨネーズの性状に及ぼす材料配合比の影響. 家政学雑誌, **31**, 629-636(1980).
- 44) 平尾和子, 澱粉・タンパク質・脂質混合ゲルの品質に及ぼす材料配合比の影響 -Scheffé の単純格子計画法からみえる食品中の糖質の役割-. 応用糖質科学, **2**, 208-217(2012).
- 45) 川染節江, 石間紀男, 吉川誠次, クッキーの原料配合比と食味の関係について. 家政学雑誌, **22**, 41-47(1971).
- 46) Moritaka, H., naito, S., Nishinari, K., Ishihara, M. and Fukuba, H., Effects of Gellan gum, Citric acid and sweetener on the texture of lemon jelly. *J. Texture Studies.*, **30**, 29-41(1999).
- 47) 「新実験化学講座 18 界面とコロイド」, (丸善, 東京), pp. 380-383(1977).
- 48) 古澤邦夫, 「新しい分散・乳化の科学と応用技術の新展開」, (株式会社テクノシテム, 東京), pp. 194-196(2006).
- 49) 赤羽ひろ, 中浜信子, 調理におけるレオロジー測定(その4), 調理科学, **22**, 247-259(1989).
- 50) 古川秀子, 「おいしさを測る」, (幸書房, 東京), pp. 43-49(2007).
- 51) 前田康智, 江木伸子, 三星沙織, 平尾和子, シェッフエの単純格子計画法における推定曲線描画のためのソフトウェアの活用法, 愛国学園短期大学要, **34**, 1-12(2016).