

# 鶏卵白泡沫系～小麦粉混合系 焼成試料のレオロジー的性質

藤岡利子

## Rheological Properties of Baked Systems Prepared from the Mixtures of Albumen Foam and Wheat Flours

Toshiko Fujioka

### Abstract

An attempt was made to characterize the rheological properties of a series of the baked systems prepared from the mixtures of albumen foam and wheat flours so as to clarify the rheological characteristics of sponge cakes, which are being utilized widely for providing a variety of Western-style cakes. The baked systems to be tested in this study were divided into seven categories according to the aging time before baking (*i.e.* 9min, 20min, 40min, and 60 min) and the kind of wheat flours (*i.e.* weak-strength and strong-strength flours, and wheat starch granules). The results obtained from the rheological measurements suggested that all the baked systems can be characterized by the retarded elastic body described with the instantaneous modulus  $E_0$ . The factors affecting the increasing value of  $E_0$  were long span of aging time before baking with the mixture consisting of strong-wheat flour, while weak-strength flour and starch granules played a role in decreasing value of  $E_0$ . Consequently, the most preferable value of  $E_0$  estimated from the sensory assessment as a sponge cake was distributed in a range from  $2 \times 10^5$  to  $3 \times 10^5$  dyne/cm<sup>2</sup> for the baked systems containing about 20% weak-strength flour.

### 1. はじめに

スポンジケーキは、例えば洋菓子のなかのデコレーションケーキ等のベースとして、多くの人々に好まれる素材である。そのふっくらとした食感やテクスチャーは、鶏卵をホイップして調整した泡沫系に小麦粉を混合し、焼成することにより現われる性質である。しかし、このよ

うなスポンジケーキの組織や性質は、これらを科学的に記述する対象としてはきわめて複雑な状態のものであるため、その調製は経験的要因に委ねられて行なわれているのが実情である。このような状況において、スポンジケーキに見られる状態の基礎的背景を定量的に記述することを試みている。まず、成分の比較的単純な鶏卵白の起泡性と生成泡沫の安定性に対するレオロジー的評価に関する実験的研究を行なった。<sup>1,2)</sup> さらに鶏卵白泡沫に小麦粉を混合したいわゆるケーキバターの応力緩和を、小麦粉の種類を変えて調製した試料を対象に測定し、混合する小麦粉の種類の影響について検討した。<sup>3)</sup> このような一連の実験研究を進めるなかで、本研究は泡沫状態にあるケーキバターを一定条件で焼成するというきわめて重要な調理操作を行ない、スポンジケーキとした場合の泡沫状態をレオロジー的性質を通して検討することを目的に実施したものである。得られた結果の詳細を、以下に報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試料

鶏卵白泡沫は、すべて市販の鶏卵から分離した卵白を用いて調製した。卵白部の pH はいずれも 8.2~9.3 の範囲にあるもので、泡沫調製の直前に粗濾過を行ないカラザを取り除いた。

卵白泡沫と混合しバターを調製するのに用いた小麦粉は、奥本製粉(株)から供与された薄力粉(商品名キャンドル)および強力粉(同ヘルメス)である。また、精製された小麦デンプン(和光純薬工業(株)製)をバターの調製に用いた。検鏡の結果、薄力粉の粉粒直径は平均  $30\mu\text{m}$ 、強力粉のそれは平均  $70\mu\text{m}$  であり、小麦デンプン粒の直径は  $2\mu\text{m}$  から  $10\mu\text{m}$  の範囲に分布していることが確認された。

鶏卵白泡沫系試料調製の際、必須の成分として添加した砂糖は、和光純薬工業(株)製のサッカロース試薬特級品をそのまま用いた。

### 2.2 バターの調製

バター試料は、二段階に分けて調製した。まず、鶏卵白 200 g に砂糖 100 g を添加し、家庭用泡立器(松下電器産業(株)製 MK-H2型)を用い、室温で 5 分間泡立て操作を行なって鶏卵白泡沫を得た。次に、調製直後の泡沫系に 35 g ~ 200 g の範囲の量の各小麦粉を 0.5mm の篩を通し、少量ずつ添加しながらゴムベラで切るように混ぜ合わせ、その後同じ家庭用泡立器の粉合わせボタン(スピード 1)で 40 秒間攪拌し、バター試料を得た。その操作は、通常のケーキバター調製法に準じる。<sup>4)</sup>

### 2.3 バターの焼成

調製したバター 25 g をアルミ製プリン型(115ml容)に秤取したのち 9 分間、20 分間、40

藤岡：鶏卵白泡沫系～小麦粉混合系焼成試料のレオロジー的性質

分間および60分間それぞれ熟成させた混合系を、家庭用オープンレンジ（松下電器産業（株）NE-A 740型）にて160℃で20分間焼成し、測定用試料とした。

## 2.4 レオロジー的性質の測定

焼成した各試料はプリン型から取り出した後、水分の蒸散を防ぎながら約20時間熟成し、レオロジー測定に供した。

各試料のレオロジー的性質は、市販の装置（山電（株）製レオナー RE-3305型）を用い、一定圧縮応力下でのクリープ挙動を測定し、記述することとした。この測定は各混合系の平坦上部に均一に密着させたプランジャーを介し、予備実験から求めた最適圧縮応力1386dyne/cm<sup>2</sup>を5分間加え続けたときの圧縮ひずみの増加を観測する方法によった。得られたクリープ曲線を、次の四要素力学模型の式に適合させるための各力学パラメーターを求めた。すなわち、ひずみの増加  $\gamma(t)$  は、

$$\gamma(t) = p/E_0 + p/E_R [1 - \exp(-E_R/\eta_R)] + pt/\eta_R$$

ここに、 $E_0$  は瞬間弾性率、 $E_R$  は遅延弾性率、 $\eta_R$  は遅延粘度、 $\eta_N$  は定常流粘度である。

図1にクリープ挙動の測定例として、焼成前の熟成時間40分の各系に観測されるクリープ曲線を示した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 焼成した各混合系の外観について

前述のように、鶏卵白泡沫系に混合する小麦粉の種類を変えて調製したバターを40分間熟成後、焼成した各系の外観は図2に示す通りである。いずれも、焼き上がった状態に外観上の差異は認められないが、小麦デンプン混合系では焼成後の組織に泡沫状態をそのまま残したような緻密さが見られ、焼き上げたときの容積も他の系と比較してやや大である。したがって、鶏卵白泡沫と混合する小麦粉の種類が異なっても、焼成したケーキ様試料の外観にそれが著しく影響する状況は観察されなかった。

### 3.2 各焼成混合系のレオロジー的特徴

一定応力下での各焼成混合系のクリープ挙動は、図1に示したように流動変形よりはむしろ弾性変形として特徴付けられる性質を現わす。すなわち、瞬間弾性変形と応力を除いたときの変形回復が著しく、それはスポンジケーキ一般に見られるレオロジー的性質と一致する。いずれも、鶏卵白泡沫系や焼成前のバターの性質と著しく異なる点である。その一例として、流動変形で特徴付けられる焼成前のバターの応力緩和曲線<sup>3)</sup>を、図3に示す。したがって、焼

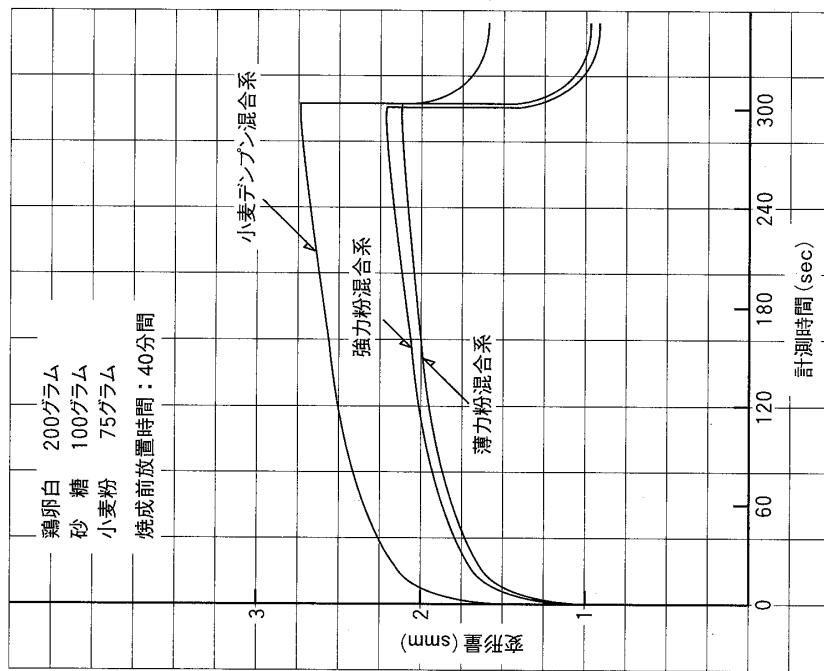


図1. 焼成バターのクリープ挙動測定例  
90%縮小したものを使用する

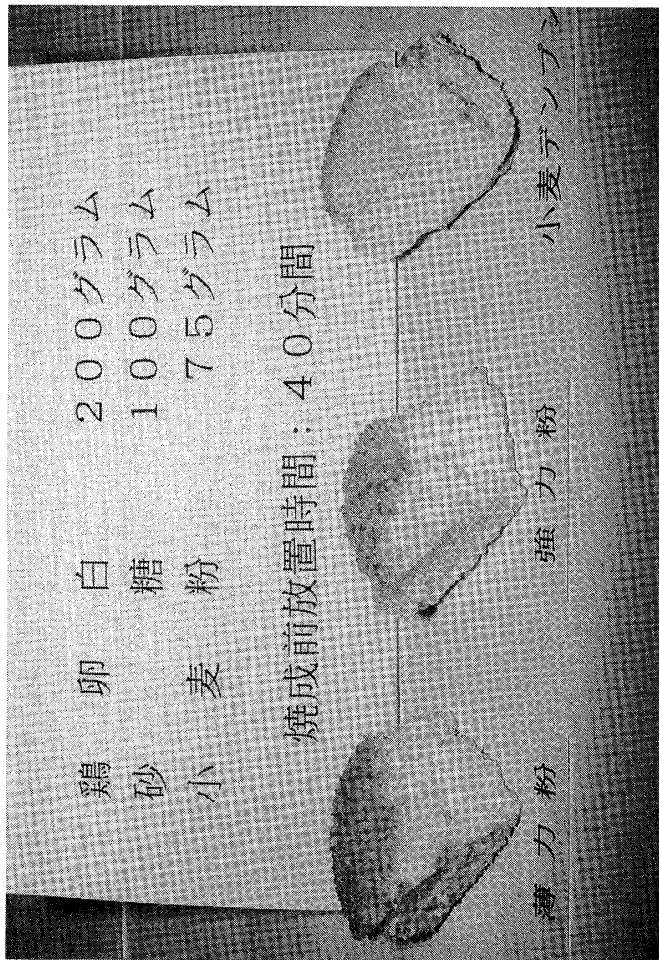


図2. 各焼成バターの外観

藤岡：鶏卵白泡沫系～小麦粉混合系焼成試料のレオロジー的性質

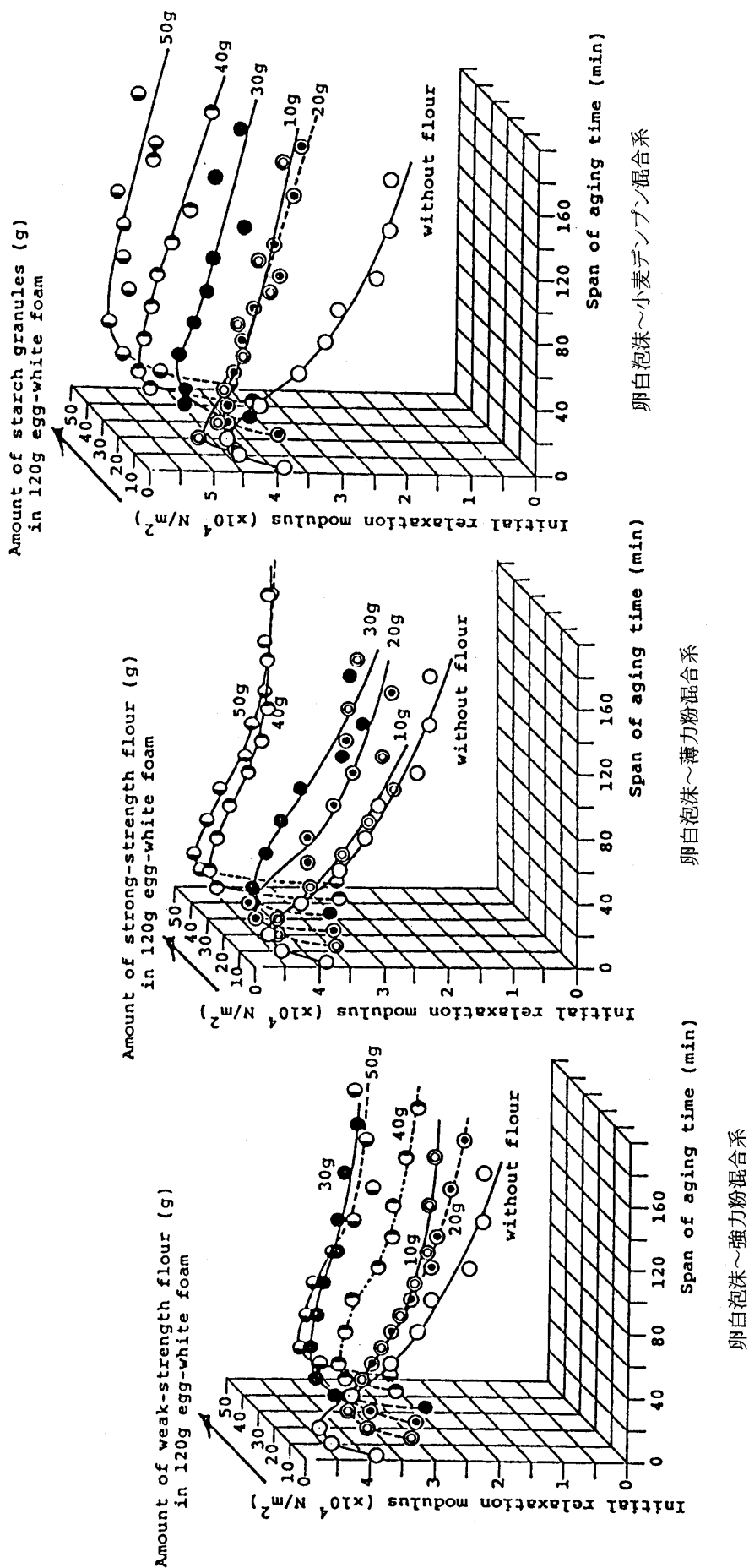


図3. 焼成前のケーキバターの応力緩和曲線

成混合系のレオロジー的性質は、以後瞬間弾性率に注目し、その値を記述することにした。

### 3.3 焼成各混合系の瞬間弾性率に及ぼす要因

図2に示した焼成混合系の外観とは異なり、各混合系の瞬間弾性率は焼成前の熟成時間および小麦粉の種類とその量に影響される。図4は、瞬間弾性率は各小麦粉添加量との関係を、熟成時間ごとに示したもので、この場合、小麦粉の添加量が増すとともに瞬間弾性率が高くなる状況がよくわかる。この傾向は、薄力粉、強力粉各混合系の場合、焼成前の熟成時間が60分になると著しくなる。一方、小麦デンプン混合系においては、焼成前の熟成時間の影響が比較的少ないが、これは鶏卵白泡沫系に小麦デンプンを混合すると、泡沫状態がやや安定化し<sup>3)</sup>、焼成後の混合系にも熟成時間の影響が現われにくくなったことを反映していると考えられる。これに対し、強力粉混合

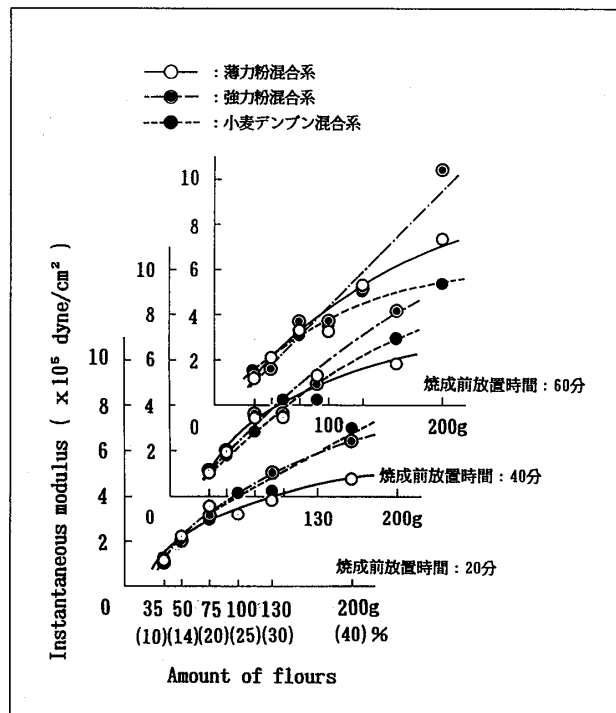


図4. 焼成バターの瞬間弾性率に及ぼす小麦粉添加量の影響

系では強力粉が泡沫状態の安定化に寄与しないことから<sup>3)</sup>、焼成前の熟成時間が長くなると混合系に相分離が現われ、これが結果的に焼成後のケーキの組織を緻密にすることから、弾性率が相対的に高くなる状況を考えることができる。したがって、焼成前の熟成時間を短くすることが、焼成後の組織に正常な状態を与えると結論付けられる。

次に、焼成前の熟成時間が焼成後のケーキの瞬間弾性率に及ぼす影響を、各小麦粉の混合量を変えて示したのが、図5である。すなわち、薄力粉および強力粉混合系では、その混合量の多い系において熟成時間が増すほど弾性率の増加が著しい。このような結果は、前述のように焼成前の泡沫状態の不安定性によってもたらされたものと考えられる。これに対し、小麦デンプン混合系では、その混合量が30%までは熟成時間の影響に他の混合系との差は目立たないが、小麦デンプン量が40%の系になると、熟成時間が増しても瞬間弾性率にほとんど変化は見られない。図5では、この系の弾性率がやや低下する傾向を示しているが、その後測定を反復したところ、弾性率は誤差の範囲で変化しないという結果を得ている。

なお、一般にスポンジケーキを調製する場合の小麦粉の混合量は20%前後であるが、本研究においても、この程度の量の小麦粉混合系の組織状態は小麦粉の種類、あるいは焼成前の熟成時間によらず感覚的に受容される状態のものであると判断される。図6は、各小麦粉を20%混

藤岡：鶏卵白泡沫系～小麦粉混合系焼成試料のレオロジー的性質

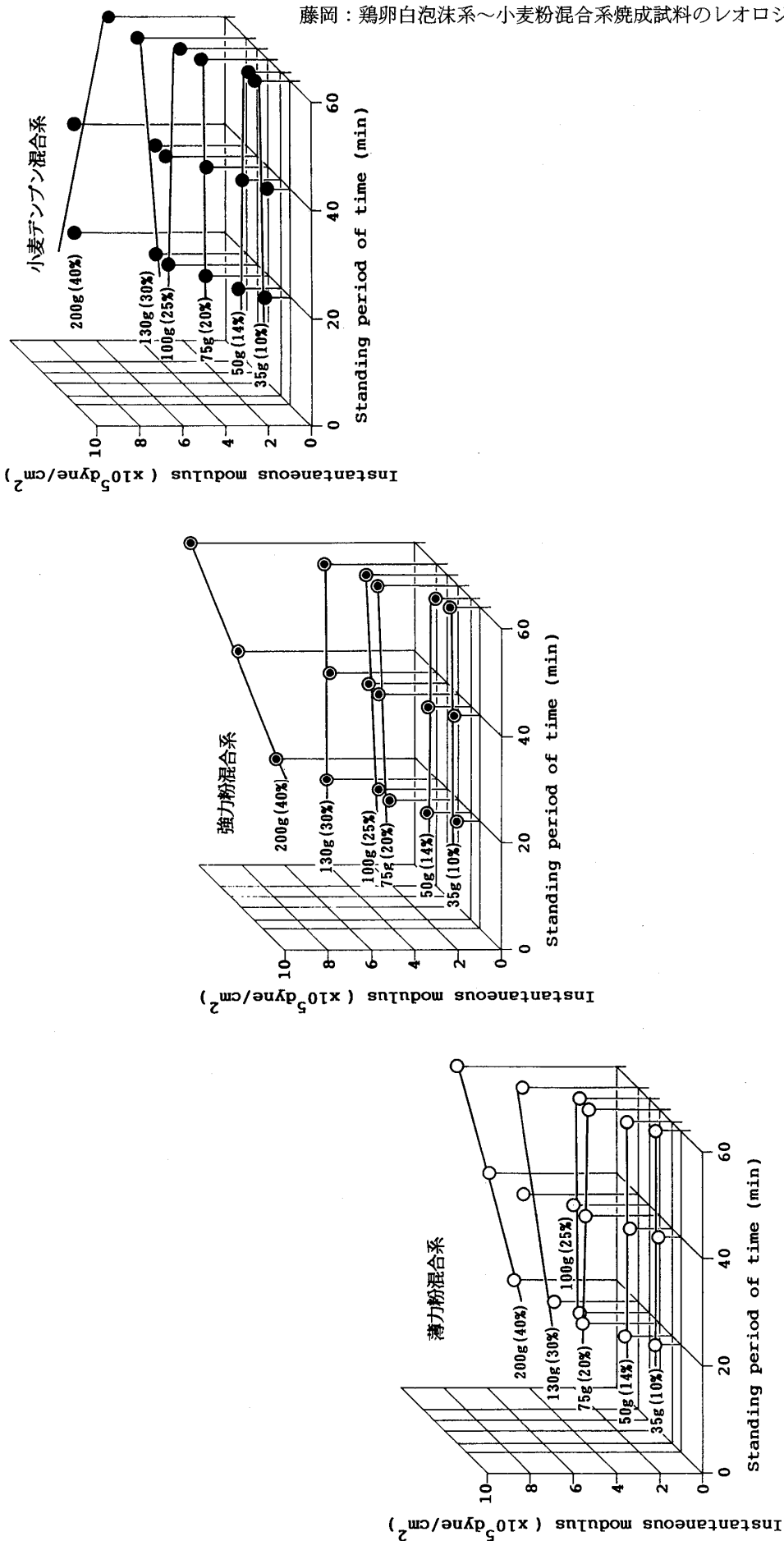


図5. 焼成バターの瞬間弾性率に及ぼす焼成前熟成時間の影響

合して調製したケーキの瞬間弾性率と焼成前の熟成時間との関係を、小麦粉別に示したものである。すなわち、各ケーキの弾性率は熟成時間によらず  $3 \times 10^5$  dyne/cm<sup>2</sup> 前後の値を示す。しかし、個々のケーキ状態を詳しく観察すると弾性率には現われない微妙な差異、例えば熟成時間が長くなるとケーキ底部に「こげ」が現われ、あるいは小麦デンプン混合系ではその焼成前の熟成時間の長短にかかわらず焼成後のケーキに「しっとり感」が不足している、というような判断が可能である。したがって、薄力粉混合系で焼成前の熟成時間の短いケーキが示すよ

うな弾性率、すなわち  $2 \sim 3 \times 10^5$  dyne/cm<sup>2</sup> の範囲にあるものが調理科学的に好ましい状態にあるものと考えられる。しかし、このような判断は、今後官能検査によって詳しく評価されなければならない。

## 要 約

鶏卵白泡沫系に三種類の小麦粉（薄力粉、強力粉、小麦デンプン粒）を混合してケーキバターを調製した後、一連の熟成時間を経て焼成し、スポンジケーキにした試料の状態をレオロジー的性質を通して検討した。

1. 焼成した各混合系の外観には、鶏卵白泡沫に混合する小麦粉の種類の影響がほとんど見られない。
2. 各焼成試料のクリープ挙動は、瞬間弾性変形と応力を除いたときの変形回復が著しく、それはスポンジケーキ一般に見られるレオロジー的性質と一致した。
3. 焼成前の熟成時間が焼成後のケーキの瞬間弾性率に及ぼす影響は、薄力粉および強力粉混合系では混合量の多い系で熟成時間が増すほどその増加が著しい。これは薄力粉および強力粉が泡沫状態の安定化に寄与せず、焼成前の熟成時間が長くなると混合系に相分離が現れ、結果的に焼成後のケーキの組織を緻密にするために、相対的に弾性率が高くなる。これに対し、小麦デンプンは泡沫系の安定性改善に効果があるため、熟成時間が増しても焼成後のケーキの瞬間弾性率の影響は見られない。
4. 以上の結果を総合して、鶏卵白泡沫に20%の薄力粉を混合した系を熟成させずに焼成した

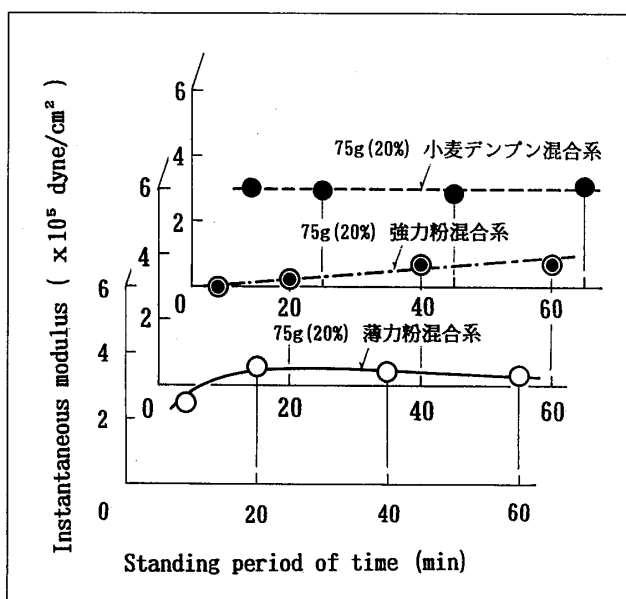


図6. 通常のスポンジケーキに準ずる焼成バターの瞬間弾性率と焼成前熟成時間との関係



藤岡：鶏卵白泡沫系～小麦粉混合系焼成試料のレオロジー的性質

試料が、スポンジケーキとして感覚的に受容される状態のものであると判断された。ちなみに、このような焼成試料の瞬間弾性率は  $2 \times 10^5$  から  $3 \times 10^5$  dyne/cm<sup>2</sup> の範囲にある。

終わりに、本実験に当たり種々ご教示、ご指導くださいました大阪府立大学名誉教授松本幸雄先生に、感謝いたします。

## 文 献

- 1) 藤岡利子, 松本幸雄: 鶏卵白泡沫の安定性に対するレオロジー的評価の試み, 調理科学, 27, 7~13 (1994).
- 2) T. Fujioka and S. Matsumoto: Factors Affecting the Viscoelastic Properties of Albumen Foams, J. Texture Studies, 26, 411-419 (1995).
- 3) 藤岡利子, 松本幸雄: 鶏卵白泡沫バターの応力緩和, 調理科学 28, 91-95 (1995).
- 4) 山崎清子, 島田キミエ: 調理と理論, p. 93~94, 同文書院, (1983).