

## 乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法による クッキー様菓子のテクスチャー比較

### Textural Properties of the Confectioneries as Cookies Made with Dry, Wet Heating and Microwave Heating Methods

肥後 温子\*<sup>§</sup> 大坪 俊輔\*\* 井部 奈生子\*\*\*

Atsuko Higo

Syunsuke Ootubo

Naoko Ibe

The effects on cookies of using roasting, deep-frying, steaming, and microwave heating methods are described. The degree of gelatinization and texture of the cookies were measured, and a sensory evaluation was made after controlling the moisture content. The differences in hardness was minimal among the different heating methods under a moisture condition of R.H. 23%, but the cookies tended to become harder in the order of roasted<deep-fried<microwave-heated<steamed at R.H. 88%. A hardening peak appeared with a water content in the ranged of 9-16 g/100 g of dry matter. The sensory evaluation rated, both the steamed and microwave-heated samples as being hard and chewy in texture. The results of this sensory evaluation and the breaking properties at R.H. 88% were highly correlated. High correlation was also apparent between the degree of gelatinization (the level of starch solubility, etc.) and the breaking properties at R.H. 88%. It is considered that microwave heating had affects of, both wet-heating (like steaming), and dehydration, easily promoting the hardening phenomenon.

キーワード：テクスチャー特性 textural properties；クッキー様菓子 confectioneries as cookies；乾式加熱 dry heating；湿式加熱 wet heating；マイクロ波加熱 microwave heating

加熱調理法には水、水蒸気が熱媒体となる湿式加熱法と、空気、油が熱媒体となる乾式加熱法があることはよく知られているが、この両加熱法で作成された菓子類のテクスチャーを比較した研究はほとんどみあたらない。蒸し加熱のような湿式加熱法は和菓子や中華菓子に使われることが多く、オープン加熱のような乾式加熱法は洋菓子に使われることが多かった経緯があり、また乾式と湿式では加熱後の含水率が違うためにテクスチャーを比べる意味が無かったためと思われる。

近年、加熱調理機器が多機能化し、温度と湿度（水蒸気量）が自由に選択できるスチームコンベクションオープンや多機能オープンレンジが登場した。これらの機種を使えば、水蒸気を投与しながら焦げ目づけをすることもできるし、蒸し菓子を乾かして半生菓子や干菓子を作ることもできる。加熱法の異なる加熱焼成菓子の力学特性の違いが明らかになれば、加熱法を選択し組み合わせることによって好みの食感を作り出すことが可能になると考えた。

オープン焼成したクッキーはサクサクとしてもろく、蒸した餅生地を乾かして焼き上げたせんべいは硬くてパリッ

と割れる食感を呈する。この違いが原材料の違いによるものか、加熱法の違いによるものかを明らかにし、さらにマイクロ波加熱焼成品の硬く歯ごたえのある食感<sup>1)</sup>が乾湿両加熱法の食感とどう違うのか、揚げ加熱品の食感はどうかについても明らかにしたいと考えた。

クッキーが湿ると軟化し、せんべいが湿ると硬化する<sup>2)</sup>。これは吸湿すると食品物性の新たな側面が観測できることを示すもので、湿度を変えて食品物性を探る手法が食品のガラス化の研究で広く使われてきた<sup>3)</sup>。吸湿時に破断抵抗を増す現象が anti-plasticization 効果<sup>4,5)</sup>として知られるようになり、前報<sup>2,6-8)</sup>では糊化度の高い菓子が調湿後に強靱な硬さを呈する現象に注目して硬化要因を特定する試みを行った。

本報は、焼き、揚げ、蒸し加熱法およびマイクロ波加熱法を用いてクッキー様菓子を調製し、加熱法の特徴を糊化特性、調湿後の破断特性から解明しようとしたものである。

#### 実験方法

##### 1. クッキー様生地の材料配合

加熱用試料として研究例の多い小麦粉クッキー生地を用いた。ただし、小麦粉に配合する砂糖、バター量は添加効果がみられる最小量とし、バターを除いた生地、砂糖を除いた生地も用いたため、クッキー様生地（以下、生地）の表現とした。加水量は生地のまとまりと糊化状態を考慮し、小麦粉 100 に対して水 40 と多め（加熱前の生地の水分量は 33~38 g/100 g）とした。3 種類の生地の材料配合を

\* 文教大学健康栄養学部  
(Bunkyo University)

\*\* 日本製粉株式会社  
(Nippon Flour Mills Co. Ltd)

\*\*\* 戸板女子短期大学  
(Toita Women's Junior College)

§ 連絡先 文教大学健康栄養学部  
〒 253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷 1100  
TEL 0467(53)2111 FAX 0467(54)3803

## 乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法によるクッキー様菓子のテクスチャー比較

**Table 1.** The physical properties of products heated with the three kinds of composition and the four kinds of heating methods

heating method	Sample component	composition of ingredient (g)				heating products		
		wheat flour	water	sugar	butter	lipid (g/100 g)	thickness (mm)	density (g/cm <sup>2</sup> )
Roast 15 min	S20/B10	100	40	20	10	8.4	4.4	0.78
	S20/B0	100	40	20	0	1.3	5.3	0.70
	S0/B10	100	40	0	10	8.7	5.8	0.65
Fry 7 min	S20/B10	100	40	20	10	14.6	4.2	0.80
	S20/B0	100	40	20	0	9.7	5.3	0.72
	S0/B10	100	40	0	10	20.8	5.6	0.70
Mw 5 min	S20/B10	100	40	20	10	8.4	5.0	0.74
	S20/B0	100	40	20	0	1.3	5.5	0.68
	S0/B10	100	40	0	10	8.7	5.8	0.66
Steam 6 min	S20/B10	100	40	20	10	8.3	3.8	1.00
	S20/B0	100	40	20	0	1.3	4.0	0.95
	S0/B10	100	40	0	10	8.6	4.0	0.92
nonheat (Dry)	S20/B10	100	40	20	10	8.3	2.8	1.22
	S20/B0	100	40	20	0	1.3	2.6	1.24
	S0/B10	100	40	0	10	8.6	2.7	1.23

Water contents of dough before heating were S20/B10 : 33, S20/B0 : 35 and S0/B10 : 38 (g/100 g)

Mean  $\pm$  S.D. of thickness (mm) :  $2.6 \pm 0.2 \sim 5.8 \pm 0.8$ , density (g/cm<sup>2</sup>) :  $0.65 \pm 0.06 \sim 1.24 \pm 0.15$

Table 1 左に、生地の水分量を Table 1 脚注に示す。

材料配合は、①薄力小麦粉（日本製粉 ハート）100、水40に対し、砂糖20、バター10とした基本生地（S20/B10と表記）、②基本生地のバターを0とした生地（S20/B0）、③基本生地の砂糖を0とした生地（S0/B10）の3種類とし、バターを業務用大型ミキサー（エスケーミキサー、容量20L）で4分攪拌、砂糖を加えて2分攪拌、ふるった小麦粉を加えて3分攪拌、水を加えて2分攪拌して生地を調製し（該当する材料が無い場合はその操作を省略）、リバーシーター KR-25 型（鎌田機器）で厚さ4mmに伸展後、1×3cmに切断した。

## 2. クッキー様生地の加熱方法

予備試験後、3種類の生地に4種類の加熱処理を行った。

加熱温度の検討：オープン焼き温度を予備試験した結果、加熱温度が140℃では最大応力値が大きく、200℃ではピーク数が増えて最大応力値が小さく、160、180℃はその中間となった。揚げ温度を140～180℃として試験した場合にも類似の傾向がみられたので、オープン焼き温度は180℃、揚げ温度は160℃とした。

加熱時間の検討：加熱法の特徴が発揮され、焦げなどによる物性の劣化が少ない2段階の加熱時間を選択し、時間が短い Main サンプルをすべての試験に用い、時間が長い Sub. サンプルは結果を補佐するために用いた。乾式加熱法、マイクロ波加熱法は含水率6%以下を目安に時間を決め（Fig. 1 参照）、蒸し加熱法は約4時間120℃で通風乾燥して含水率6%以下とし、予備的にテクスチャー測定した結果を含めて加熱時間を6、10分間に決定した。

加熱法別の加熱時間は、①オープン焼き（Roastと略

記）：180℃ガスオーブンで15、20分間、②揚げ（Fryと略記）：160℃油中で7、10分間、③マイクロ波（Mwと略記）：ラップ包装して出力600Wの電子レンジで5、7分間（3、2、1、1分間の間欠加熱、加熱ごとに3分間休止）、④蒸し（Steamと略記）：約95℃蒸器で6、10分間とした。

## 3. 加熱乾燥試料の厚み、密度および油脂量

Roast, Fry, Mwは加熱後30分～1時間、Steamは加熱後約4時間120℃で通風乾燥し、未加熱試料も室温で24時間以上風乾して全試料を含水率6%以下に調製した。3種類の材料配合、4種類の加熱方法、2段階の加熱時間を組み合わせると試料の総数は27種類となった。

加熱前後の試料の厚みはノギスにより測定し、密度は菜種法を用いて定法通り測定した<sup>6)</sup>。油脂量は試料を粉碎後、クロロホルム・メタノール（2：1）溶媒でソックスレー抽出した乾燥重量として求め、抽出後の脱脂粉体は糊化関連値（溶出デンプン量、膨潤度、X線回折）の測定に使用した<sup>1,2,7-9)</sup>。

## 4. 加熱試料の水分量および調湿保存条件と調湿試料の水分量

加熱試料の水分量：加熱後荒砕きした試料を140℃で恒量値まで乾燥し、湿量基準%で示した。

調湿条件と吸着水分量：加熱乾燥試料および未加熱試料（いずれも乾物）を20℃の大型恒温器内の調湿用デシケータに入れ、12段階の湿度環境下（R.H. 8.9, 11.3, 23, 33, 43, 58, 70, 75.5, 80.5, 88, 97.5, 100%）<sup>10)</sup>に2週間調湿保存した後、140℃で恒量値まで乾燥し、乾物100g当たりの水分量を求めた。

## 5. テクスチャー測定

加熱直後に試料の水分が変化しないように全試料にラップ包装し、試料温度が室温まで下がった加熱15分後よりラップ包装を取り除いてテクスチャー測定を行った。レオロメーター・マックスRX-1600(アイテクノ)を用い、先端部12×1 mmのくさび型プランジャー、圧縮速度200 mm/min、チャート速度600 mm/min、クリアランス1 mmの条件で各加熱段階において6点以上測定する実験を2回繰り返して、テクスチャー曲線から最大応力、総エネルギー(曲線で囲まれた全面積)を算出した<sup>1,2,7-9)</sup>。

## 6. 官能評価

Roast 15分間、Mw 5分間、Steam 6分間加熱した後120℃で乾燥した3種類のMainサンプル間(油脂の多いFryを除く)およびRoast 20分間、Mw 7分間、Steam 10分間加熱後120℃で乾燥した3種類のSub.サンプル間について食感の違いを官能評価し、有意差検定(t検定)を行った。パネルは20歳前後の男女学生52名、評価項目は-3(硬い、もろくない、噛み砕きにくい、もちっとしている)~+3(軟らかい、もろい、噛み砕きやすい、パリッとしている)とした。

## 7. 溶出デンプン量、膨潤度

脱脂粉体2 g(83メッシュ以下)に40℃の温水40 mlを加えて40℃で1時間振とう膨潤後、5000 rpmで10分間遠心分離し、上清液の660 nmヨード呈色値(25倍希釈液の吸光度)を溶出デンプン量とした<sup>1,2,7-9)</sup>。

膨潤度は遠心分離後の沈澱重量とヨード呈色値より算出した溶出デンプン量より計算した。膨潤度=沈澱重量(g)/[脱脂粉体重量(g)-上清の溶出デンプン量(g)]。

## 8. X線回折

S20/B10のMainサンプルの脱脂粉体を用い、日本電子製X線回折装置JDX-8030型により通常モード、ターゲットCu、管電圧40 kV、管電流20 mA、発散スリット1°、発光スリット0.2 mmの条件でX線回折を行った。

## 9. 破断特性値と糊化度および破断特性値と官能評価値との相関

S20/B10のMain、Sub.サンプルをR.H. 23%、88%で調湿保存した後の最大応力値と総エネルギー値を用い、8種類のサンプル間において破断特性値と糊化度との相関を求め、さらに揚げ加熱試料を除く6種類のサンプル間において破断特性値と官能評価値との相関を求めた。

## 10. 顕微鏡観察

S20/B10およびS0/B10のMainサンプルの表面に近い切断面を、実体顕微鏡CH-600型(キーエンス)を用いて倍率50倍で観察した。

## 結果および考察

### 1. 加熱中における水分量の減少と最大応力値の増加

S20/B10試料の加熱過程における最大応力値の変化を

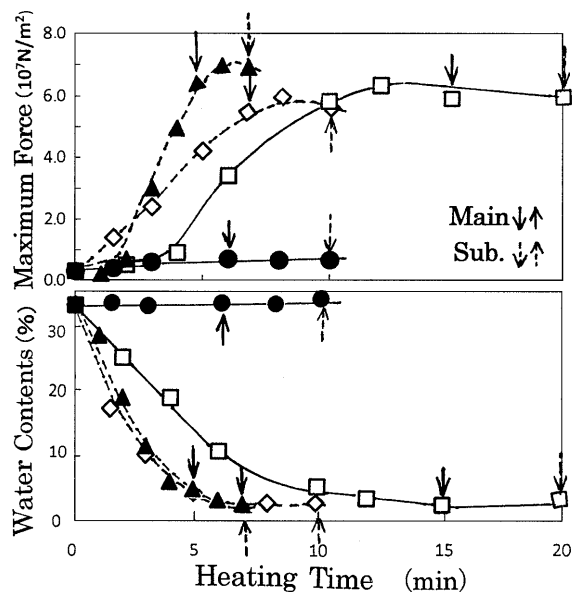


Fig. 1. The increase of textural properties and the decrease of total water of S20/B10 samples treated with the four kinds of heating methods

—□— Roast, —◇— Fry, —▲— Mw, —●— Steam, ■ nonheat

Fig. 1 上に、水分量(未加熱時33%)の変化を Fig. 1 下に示す。

加熱中の最大応力値(10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>, 未加熱時0.3)は、Roastでは10~20分後に5.7~6.4(±0.2~0.8)、Fryでは7~10分後に5.6~6.0(±0.4~1.2)、Mwでは5~7分後に6.3~6.8(±0.2~1.2)となった。Steamは水分量が33~34%と多いため最大応力値が0.65~0.70(±0.11~0.20)と低かったが、加熱乾燥して調べると6, 10, 20分後の硬さが6.2, 11.6, 21.0×10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>と直線的に上昇していることがわかった(Steam 20分は他法と比べて硬すぎるため予備試験に留めた)。

水分量は、Roastでは約5分後、FryとMwでは約2分後に15%以下となり、さらにRoastでは約10分後、FryとMwでは約5分後に6%以下となったので、Roast, Fry, MwのMainとSub.サンプルはこの段階で採取した。加熱試料の微量な水分量や水分分布の違いによって硬さが変わることがわかったので、乾燥し調湿保存して水分をそろえた上でテクスチャーを比較した。

### 2. 加熱乾燥試料の厚み、密度および油脂量

3種類の材料配合の生地に、Roast, Fry, MwおよびSteamの4種類の加熱処理を行った後、乾燥処理を行った。加熱乾燥したRoast, Fry試料は外部が焦げ、Mw試料は内部が薄く焦げ、Steamと未加熱試料はほぼ白色であった。本実験では業務用の成型機を用いたので、厚みの測定誤差が少なく膨化状態は良好であった。加熱乾燥したMainサンプルの油脂量、厚み、密度を、Table 1右に示す。Fry 3種類の油脂量は9.7~20.8 g/100 g、その他の油

## 乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法によるクッキー様菓子のテクスチャー比較

脂量は1.3~8.7 g/100 gであった(実測値または計算値)。

12種類のMainサンプルの厚みは3.8~5.8 mm, 密度は0.65~1.00であり(Table 1右), S0/B10試料は加熱法にかかわらず厚くて密度が小さく, 膨化度が高いことがわかった。加熱法によって膨化しやすい順位はMw $\geq$ Roast $\geq$ Fry>Steamとなり, Mwの膨れが大きく, 蒸し加熱の膨れが小さかった。なお, 未加熱試料(Dry)の厚みは2.6~2.8 mm, 加熱乾燥試料は3.8~5.8 mmなので, 加熱により1.3~2.1倍厚みが増したことになる。

### 3. 試料の調湿と吸着水分量

R.H. 8.9~100%の各湿度環境下に調湿保存したMainサンプルの吸着水分量(g/乾物100g)は, S20/B10ではRoast 5.1~21.8, Mw 5.0~21.5, Steam 4.6~21.0>Fry 3.8~18.0 ( $\pm 0.2\sim 1.5$ ), S20/B0ではRoast 5.0~22.0, Mw 4.6~21.6, Steam 4.7~21.0>Fry 3.8~20.5であり, S0/B10ではRoast 4.3~20.6, Mw 4.4~20.0, Steam 4.7~18.2 $\geq$ Fry 3.5~18.0であった(図は省略)。

材料配合と加熱法が異なる15種類の吸着曲線は類似していたが, 揚げ加熱試料は明らかに吸着水分量が少なく, S0/B10試料も吸着水分量が若干少なかった。なお, 未加熱試料(Dry)の吸着水分量は5.8~22.0 g/乾物100gで加熱試料より若干大きかった。

### 4. 材料配合と加熱法を異にする乾燥試料の破断曲線

材料配合が異なる12種類のMainサンプルを調湿保存した後の典型的な破断曲線を, Fig. 2に示す。Fig. 2下は低湿度

度(R.H. 23%), Fig. 2上は高湿度(R.H. 88%)における破断曲線である。

最大応力値(値を図中に表示)は低湿度, 高湿度ともS20/B0>S20/B10>S0/B10の順に小さくなった。また, R.H. 23%よりR.H. 88%の最大応力値の方が大きく(S0/B10を除く), 加熱法の差も大きかった。R.H. 23%ではSteam>Mw, Fry>Roast, R.H. 88%ではSteam>Mw $\geq$ Fry>Roastとなり, Roastの硬さが最も小さく, Steamは最も大きかった(Table 3参照)。

膨れて多孔質な試料, ショートネス性がある試料ではピーク数が多く, 硬い試料ではピーク数が少ない傾向がみられた。材料配合別のピーク数はS0/B10 2~8>S20/B10 1~5 $\geq$ S20/B0 1~4となったので, 前者の代表がS0/B10, 後者の代表がS20/B0といえる。

加熱法別のピーク数はRoast 3~7, Mw 2~8, Fry 2~6 $\geq$ Steam 1~2であり, Mwは硬いが破断ピークの多い破断曲線を示し, Steamは硬くて一気にパリンと割れる堅焼きせんべいのような破断曲線を示した。一方, 未加熱試料(Dry)のピーク数は1~2と少なく, 吸湿前の最大応力値は最大であった(Table 2, Fig. 3参照)。

クッキーの油脂量ともろさについての報告は多く<sup>10-12)</sup>, 砂糖の添加量ともろさ, 硬さの関係を調べた報告もある<sup>13)</sup>。油脂, 砂糖の添加量が少ない本実験結果も, それを裏づけるものであった。また, Fry, Mw, Steamの場合にも, Roastの場合と同様に油脂, 砂糖の添加効果が得られ

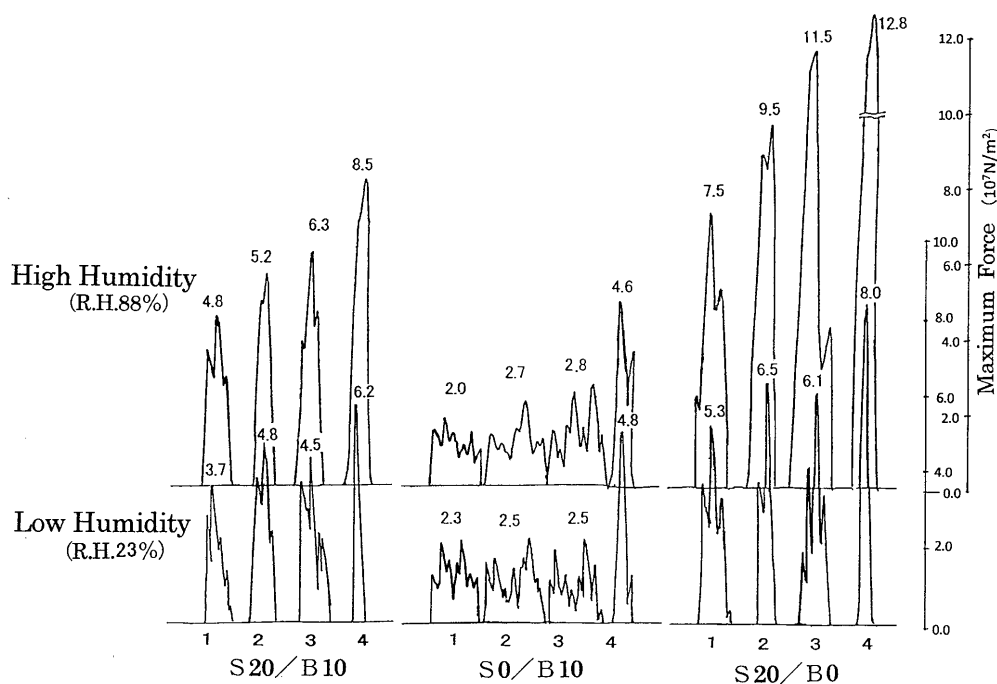


Fig. 2. Typical textural curves of the products heated with the three kinds of composition and the four kinds of heating methods

1. Roast 15 min, 2. Fry 7 min, 3. Mw 5 min, 4. Steam 6 min

upper figure : maximum force at R.H. 88%, lower figure : maximum force at R.H. 23%

ることがわかった。

### 5. 調湿による破断特性値の変化

12段階の湿度に調湿保存したS20/B10の最大応力値、総エネルギー値をTable 2に、S20/B0の破断特性値をFig. 3に示す。Table 2では破断特性値の変化を数字で示し(最大値にアンダーライン)、最大値の多いR.H. 80.5%において試料間の有意差検定を行った。

図表にはR.H. 43%付近までの変化は少なく、R.H. 58~70%付近から硬くなり、R.H. 75.5~88%で最大の硬化ピークが現れるという全加熱試料に共通した最大応力値、総エネルギー値の変化がみられた。低湿度域の総エネルギー値はSteamが最小であったが、MwとSteamは高湿度域で硬くなる度合いが大きく、R.H. 88%付近ではS20/B10、S20/B0ともSteam, Mw>Fry>Roastとなった。

低湿度では脆性破断し高湿度では延性破断するため、圧

縮距離が延びる傾向は全試料に認められたが、Steamの場合には低湿度での破断曲線の横幅がきわめて細く、高湿度になると横広がりになるため顕著な面積増加(総エネルギー値の増大)につながったといえる(Fig. 2参照)。一方、未加熱試料は低湿度の方が硬く、R.H. 43%以上では軟化傾向が認められた。

### 6. 加熱法を異にする試料の吸着水分量と破断特性

横軸に吸着水分量をとって材料配合、加熱法の異なる最大応力値を比べるとFig. 4となり、総エネルギー値を比べるとFig. 5となった。

材料配合別ではS20/B0>S20/B10>S0/B10の順に破断特性値が小さくなるが、どの試料もR.H. 58%以上の水分域で破断抵抗を増す山型の力学特性を示すことがわかった。加熱法別ではMwとSteamとが破断抵抗を増す度合いが大きく、硬化領域における最大応力値はSteam>Mw>

Table 2. Textural properties of the main heating samples with S20/B10 composition after adsorption

relative humidity (%)	11.3	23	33	43	58	70	75.5	80.5	88	97.5
maximum force	$10^7 \text{ N/m}^2$									
Roast 15 min	3.4	3.7	3.8	4.0	4.4	4.9	5.1	<u>5.5</u>	4.8	3.6
Fry 7 min	4.6	4.8	5.1	5.0	5.5	5.7	<u>6.0</u>	5.8	5.2	4.5
Mw 5 min	4.5	4.5	4.8	5.2	5.4	5.9	6.8	<u>7.0</u>	6.3	5.0
Steam 6 min	6.0	6.2	6.6	7.1	7.8	8.5	8.7	<u>8.9</u>	8.5	7.2
nonheat (Dry)	7.5	<u>7.8</u>	7.6	6.8	5.5	4.9	4.5	3.9	2.8	2.2
total energy	$10^8 \text{ J/m}^3$									
Roast 15 min	21.0	22.5	22.8	24.0	27.2	33.0	<u>39.6</u>	39.2	33.8	27.0
Fry 7 min	25.6	24.0	24.6	26.0	30.6	35.0	42.5	<u>49.5</u>	46.5	38.0
Mw 5 min	29.0	29.8	30.9	30.0	35.5	44.0	48.5	52.7	<u>55.1</u>	43.4
Steam 6 min	14.8	16.1	15.6	18.0	21.0	33.0	47.0	<u>51.0</u>	<u>51.0</u>	42.0
nonheat (Dry)	27.0	<u>28.5</u>	25.0	19.0	16.0	15.8	16.2	15.5	15.0	13.5

Heating time as shown in Table 1, The maximum data was underlined. Mean  $\pm$  S.D. of maximum force ( $10^7 \text{ N/m}^2$ ):  $3.4 \pm 0.2 \sim 8.9 \pm 2.5$ , total energy ( $10^8 \text{ J/m}^3$ ):  $14.8 \pm 0.8 \sim 55.1 \pm 9.6$

\*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

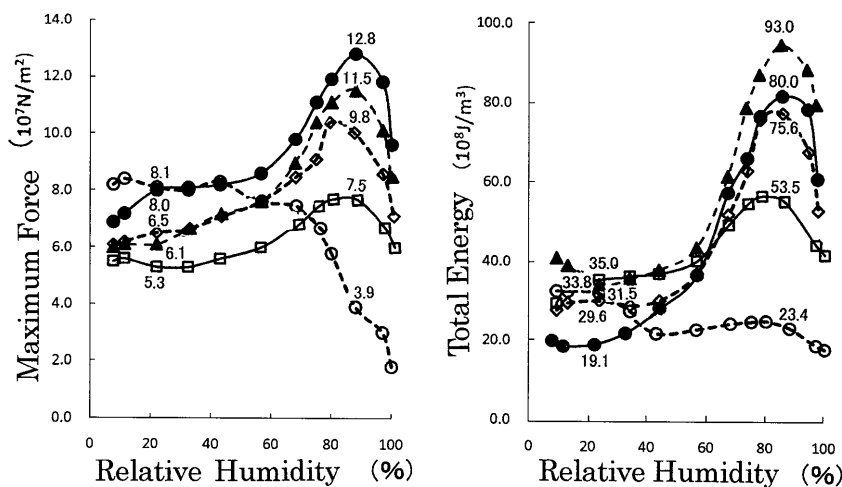


Fig. 3. Textural properties of the main heating samples with S20/B0 composition after adsorption  
 —□— Roast 15 min, —◇— Fry 7 min, —▲— Mw 5 min, —●— Steam 6 min, —○— nonheat (Dry)

乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法によるクッキー様菓子のテクスチャー比較

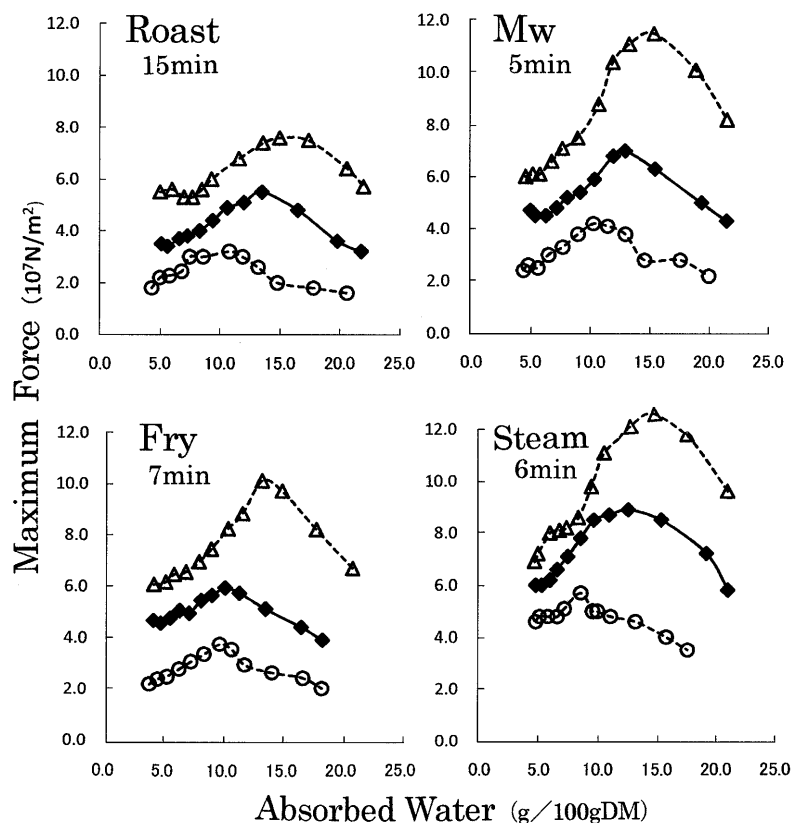


Fig. 4. Maximum force of the main heating samples at various water after adsorption  
 —◆— S20/B10 samples, --△-- S20/B0 samples, --○-- S0/B10 samples

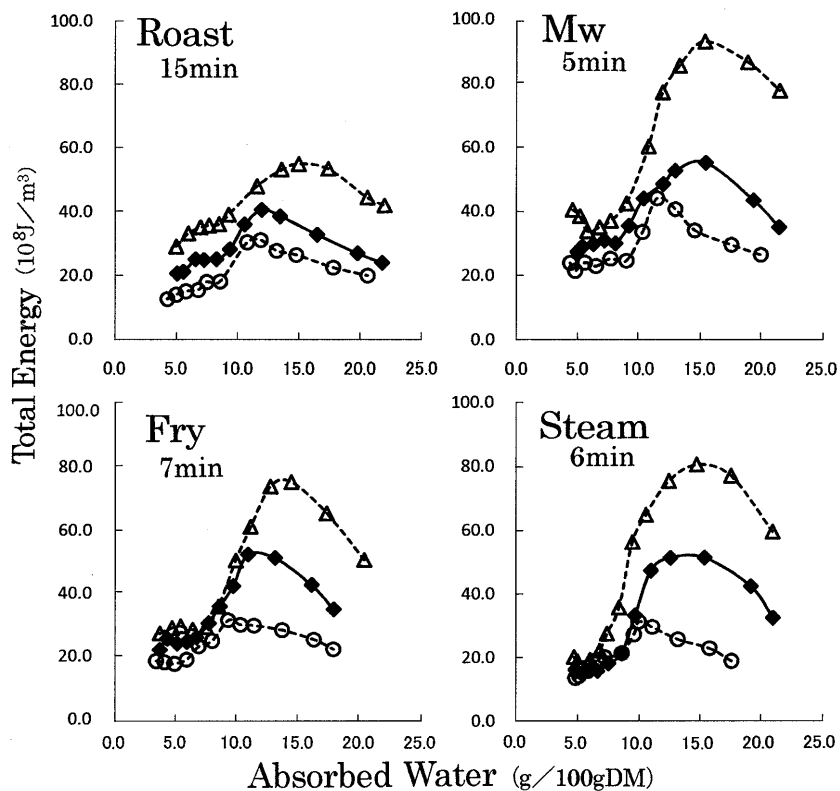


Fig. 5. Total energy of the main heating samples at various water after adsorption  
 —◆— S20/B10 samples, --△-- S20/B0 samples, --○-- S0/B10 samples

Fry>Roast, 総エネルギー値は Mw>Steam>Fry>Roast の順となった。

最大の硬化ピークが出現する水分量 (g/乾物 100 g, 前の数字は最大応力値, 後ろの数字は総エネルギー値) は, Roast では S20/B0 (15.0, 15.0)>S20/B10 (13.5, 12.0)>S0/B10 (10.4, 11.4) であった。この結果は破断抵抗が大きい試料ほど高水分域まで硬化状態が保持され, 破断抵抗が小さい試料ほど低水分域において軟化しやすいことを示すものである。

また, 4 種類の加熱法において最大の硬化ピーク (最大応力値, 総エネルギー値を含む) が出現する水分量 (g/乾物 100 g) の出現幅は S20/B0 (12.8~15.5)≥S20/B10 (9.8~15.4)≥S0/B10 (8.6~11.9) となった。この結果は, 最大の硬化ピークが出現するのは水分約 9~16 g/乾物 100 g の範囲内であることを示すものである。

調湿後に破断抵抗を増した試料ほど硬化領域が拡大する結果は前報でも報告した<sup>2,7-9)</sup>。収着曲線より多重層収着水分量を計算した結果, 破断抵抗を増した試料ほど結合水量が多い結果が得られたので<sup>11,12)</sup>, 吸湿による硬化現象と水の束縛度との関係を検討している。

### 7. 加熱法, 加熱時間を異にする乾燥試料の破断特性

S20/B10 の Main と Sub. サンプル (Fig. 1 参照) の最大応力値, 総エネルギー値を Table 3 の左に示した。前述したようにクッキー様菓子の油脂量, 砂糖量を変化させて破断特性を調べた報告は多いので<sup>13-16)</sup>, 材料配合を変えた S0/

B10, S20/B0 試料については Main サンプルの試験にとどめた。

Roast は Main と Sub. の差が少なく, Fry, Mw は Sub. の値がやや高く, Steam は Sub./Main の最大応力比, 総エネルギー比 (R.H. 23%, R.H. 88%を含む) が 1.6~2.2 倍に増大していることがわかった。Steam の残存水分量は 33~34%と多いので (Fig. 1 参照), 加熱時間が長くなると糊化が進行し, 乾燥後に糊化度の違いが硬さの違いとして表れた結果と思われる (Table 3 右参照)。

### 8. 加熱法, 加熱時間を異にする乾燥試料の官能評価

S20/B10 の Main と Sub. サンプルを用いて, Roast, Mw, Steam (油脂の多い Fry を除く) 処理が食感に与える影響を調べた。官能評価の結果を Fig. 6 と Table 3 の中央に示す。

3 種類の Main 試料を官能評価したところ, Fig. 6 上に示すように Mw は Steam 6 分より硬く ( $p<0.01$  で有意), 歯ごたえがあると評価された。一方, 有意差は無かったが, Steam よりもろいとの官能評価結果も得られた。これらは, 硬いが破断ピークの多い Mw 試料の破断特性 (Fig. 2) を裏づけるものである。

3 種類の Sub. 試料を官能評価したところ, Fig. 6 下に示すように Steam 10 分は非常に硬い, 非常に歯ごたえがある, もろくないと評価され ( $p<0.01$  で Mw 加熱と比べて有意差あり), 3 項目とも Steam>Mw>Roast となった。

硬さ, もろさ, 歯ごたえの評点が Steam 6 分: -1.1~

**Table 3.** Textural properties, sensory evaluation and gelatinization characteristics of the different heating samples with S20/B10 composition

heating method	heating time	humidity condition	textural properties		sensory evaluation		gelatinization degree	
			maximum force*	total energy***	hardness	shortness	swelling capacity	starch solubility
Roast	15 min	R.H. 23%	3.7	22.5	-1.29	-0.61	3.03	0.320
		R.H. 88%	4.8	33.8				
	20 min	R.H. 23%	3.6	20.4	-1.21	-0.38	3.17	0.336
		R.H. 88%	4.5	32.0				
Fry	7 min	R.H. 23%	4.8	24.0	-	-	4.15	0.480
		R.H. 88%	5.2	46.5				
	10 min	R.H. 23%	5.6	29.5	-	-	4.56	0.516
		R.H. 88%	7.3	55.0				
Mw	5 min	R.H. 23%	4.5	29.8	-2.47	-1.35	3.98	0.504
		R.H. 88%	6.3	55.1				
	7 min	R.H. 23%	5.8	30.9	-2.09	-1.27	4.30	0.562
		R.H. 88%	7.4	56.0				
Steam	6 min	R.H. 23%	6.2	16.1	-2.00	-1.68	4.90	0.705
		R.H. 88%	8.5	51.0				
	10 min	R.H. 23%	11.6	35.8	-2.83	-2.35	5.33	1.038
		R.H. 88%	13.4	82.0				
nonheat (Dry)	0 min	R.H. 23%	7.8	28.5	-	-	1.84	0.044
		R.H. 88%	2.8	15.0				

\* Mean ± S.D. of maximum force ( $10^7$  N/m<sup>2</sup>): 2.8±0.2~13.4±2.8.

\*\*\* Mean ± S.D. of total energy ( $10^8$  J/m<sup>3</sup>): 15.0±0.8~82.0±10.5, Evaluation as shown in Fig. 6

乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法によるクッキー様菓子のテクスチャー比較

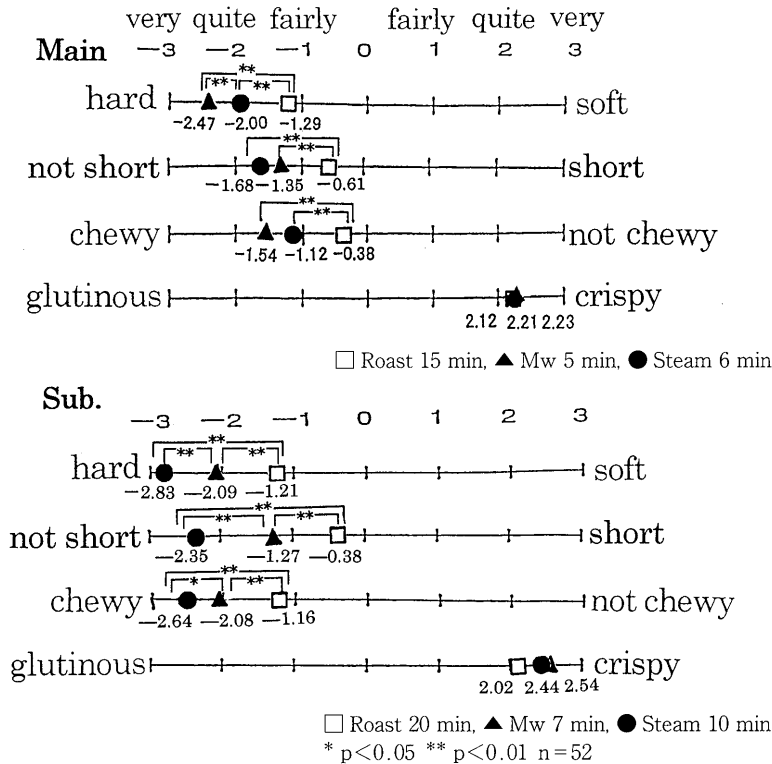


Fig. 6. Sensory evaluation for the different heating samples with S20/B10 composition

-2.0から10分：-2.3~-2.8と大きく変化したこの結果は、蒸し加熱は水分が減らないため加熱時間が長くなれば硬化が助長されることを示すもので、乾式加熱法との本質的な違いを示すものといえる (Table 3 参照)。

9. 加熱法, 加熱時間を異にする試料の糊化度

Table 3の右に Main, Sub. サンプルの膨潤度と溶出デンプン量 (660 nm 吸光度) を示し, Fig. 7に Main サンプルの X 線回折結果を示した。X 線回折はアミロペクチンの多い結晶部の変化を捉えており, 溶出デンプン量はアミロースの多い非晶質部に加えて粘りの強いアミロペクチンの溶出を捉えている可能性がある<sup>17,18)</sup>。Mw 加熱で溶出デンプン量が増える結果も得られているので<sup>19)</sup>, 糊化度の測定には複数の手段を用いた。

Steam 6~10 分試料では特に溶出デンプン量が多く, Roast の 2.2~3.1 倍, Fry と Mw の 1.4~2.0 倍であった。Mw と Fry の差は少なく Steam>Fry, Mw>Roast となったが, 膨潤度はやや Fry が高く, 溶出デンプン量はやや Mw が高い傾向がみられた。

一方, Steam 6 分試料では生デンプンの X 線回折が消失し, d4.53Å をピークとする V 図形 (ほぼ完全に糊化) となった。結晶構造が消失した順位は, Steam 6 分>Fry 7 分>Mw 5 分>Roast 15 分加熱の順となり, Roast は加熱時間が長いにもかかわらず糊化度が低く, Fry は Mw より V 図形に近くなった。ちなみに, X 線回折による結晶構造の消失度の順位と膨潤度 (Table 3) による糊化度の順位は

よく一致したが, X 線回折による結晶構造の消失度の順位と溶出デンプン量による糊化度の順位は一致しなかった。

Fry では油温が高い上に油膜に包まれた試料が急激に昇

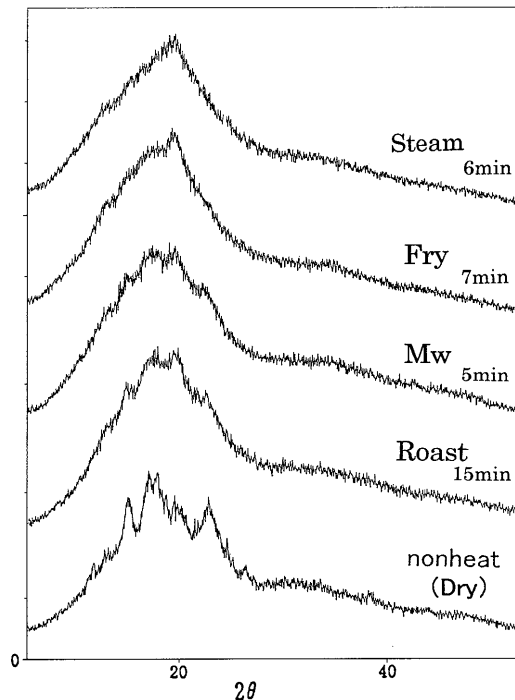


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of the main heating samples with S20/B10 composition



温するため、Mw と似た湿熱加熱効果が発揮され、糊化度が高くなった可能性が考えられる<sup>20)</sup>。

#### 10. 加熱法、加熱時間を異にする試料の破断特性値と官能評価との相関

Roast, Mw, Steam について各々2段階の破断特性値と官能評価値が得られた (Table 3 左と中央参照)。同じ学生が Main と Sub. の官能評価を行っているので、6 サンプル間で硬さまたはもろさの官能評価値と破断特性値との相関関係を調べることができる。Table 4 左に官能評価値と破断特性値との相関係数を示す (相関図は省略した)。

最大応力値と硬さの評点値との間には  $y = -(0.16 \sim 0.17)x - (0.77 \sim 0.99)$ , 最大応力値ともろさの評点値との間には  $y = -(0.21 \sim 0.22)x + (0.01 \sim 0.29)$  の負の直線近似式が得られ、R.H. 23%では相関係数 0.607, 0.826, R.H. 88%では 0.678, 0.910 が得られた。さらに、総エネルギー値と官能評価値の間では R.H. 23%では相関係数 0.522, 0.290 と低かったが、R.H. 88%の高湿度域では 0.905, 0.912 の高い相関が得られた。

高湿度域で湿った菓子の破断特性 (糊化度が高いほど強靱) と唾液で湿った菓子の食感 (糊化度が高いほど噛み砕き難い) が似ているため、高湿度域の破断特性値の方が官能評価値との相関が高くなったと考えられる。

#### 11. 加熱法、加熱時間を異にする試料の破断特性値と糊化度との相関

風乾を除く 8 試料 (Table 3 左参照) を用いて破断特性値と糊化度との相関関係を調べ、相関係数を Table 4 の右に示した。

R.H. 23%と R.H. 88%の最大応力値と膨潤度の間において  $y = (0.24 \sim 0.26)x + (2.5 \sim 2.7)$ , 最大応力値と溶出デンプン量の間において  $y = (0.08 \sim 0.09)x + (0.00 \sim 0.06)$  の直線近似式による正の相関があり、相関係数 0.696~0.968 となった。総エネルギー値と糊化度との間では R.H. 23%では相関なしであったが、R.H. 88%では 0.779, 0.860 の相関が得られた。

低湿度では脆性破断するために糊化度が高い蒸し加熱試料の総エネルギー値が小さく相関なしとなったと考えられる。R.H. 88% (調湿保存時に硬化ピークが出現する湿度に

相当する) では糊化デンプンが吸着水分量を保有して増粘結着力を増し<sup>21)</sup>, 糊化度の高い試料ほど強靱な組織となるため糊化度との相関が高くなったと考えられる。

なお、硬化領域で糊化度との相関が高くなる結果が得られたところから、anti-plasticization 効果<sup>4,5)</sup>を引き起こす一要因として糊状物質の存在が注目される。

#### 12. 加熱試料の破断物性に及ぼす膨化、亀裂の影響

試料組織の膨化度や亀裂状態が加熱試料の破断物性に影響すると考えて調べた。Fig. 8 に示した S20/B10, S0/B10 試料の顕微鏡写真のうち、特に Fig. 8 右に示した S0/B10 試料の写真には加熱法の違いがよく捉えられていることがわかった。

Roast の試料内部には多数の空隙が存在し、Steam 試料には空隙も亀裂も少なかった。また、Fry 試料の表層部には破裂したような亀裂が認められ、Mw 試料には内部にまで層状の亀裂が認められた。この結果は、天火加熱では内部にのみ亀裂を生じ、蒸し加熱は亀裂が少なかったとのドーナツの亀裂発生報告<sup>22)</sup>と一致している。

Roast 試料のもろい物性は、多孔質で糊状物による結着が弱い組織構造から生まれたと推察される。Fry 試料の糊化度の割に硬化度の低い物性は、油脂と亀裂が介在する組織構造から生まれたと推察される。Mw 試料の硬いが破断ピーク数の多い物性は、糊状物質で補強された連続層と空洞部 (亀裂) との多層構造から生まれたと推察される。Steam 試料の硬くパリッと割れる物性は糊状物で補強された密な組織構造から生まれたと推察される。

#### 13. 調湿試験の成果

乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法の特徴 (糊化特性、調湿後の破断特性) が明らかになった。加熱法の違いを食品のテクスチャー改善のために利用することもできるが<sup>23)</sup>, 調湿法を食品の物性研究のために利用することもできる。調湿試験によって得られた成果をまとめると、(1)~(3) となった。

(1) 調湿試験によって試料間の力学特性の違いが明確になり、高湿度域の方が糊化度との相関も、官能評価との相関とも高くなった。(2) 調湿時にみられる anti-plasticization 効果<sup>4,5)</sup>と糊化度との関係が裏づけられ、硬化する水分

**Table 4.** Correlation coefficient between textural properties and sensory evaluation, or textural properties and gelatinization degree of the different heating samples with S20/B10 composition

textural properties	humidity	sensory evaluation		gelatinization degree	
		hardness	shortness	swelling capacity	starch solubility (660 nm)
maximum force ( $10^7$ N/m <sup>2</sup> )	R.H. 23%	0.607	0.826	0.696	0.943
	R.H. 88%	0.678	0.910	0.755	0.968
total energy ( $10^8$ J/m <sup>3</sup> )	R.H. 23%	0.522	0.290	0.177	0.059
	R.H. 88%	0.905	0.912	0.779	0.860

Correlation between sensory evaluation were used 6 types of heated samples without fried, and correlation between gelatinization degree were used 8 types of heated samples (shown in Table 3)

## 乾湿両加熱法およびマイクロ波加熱法によるクッキー様菓子のテクスチャー比較

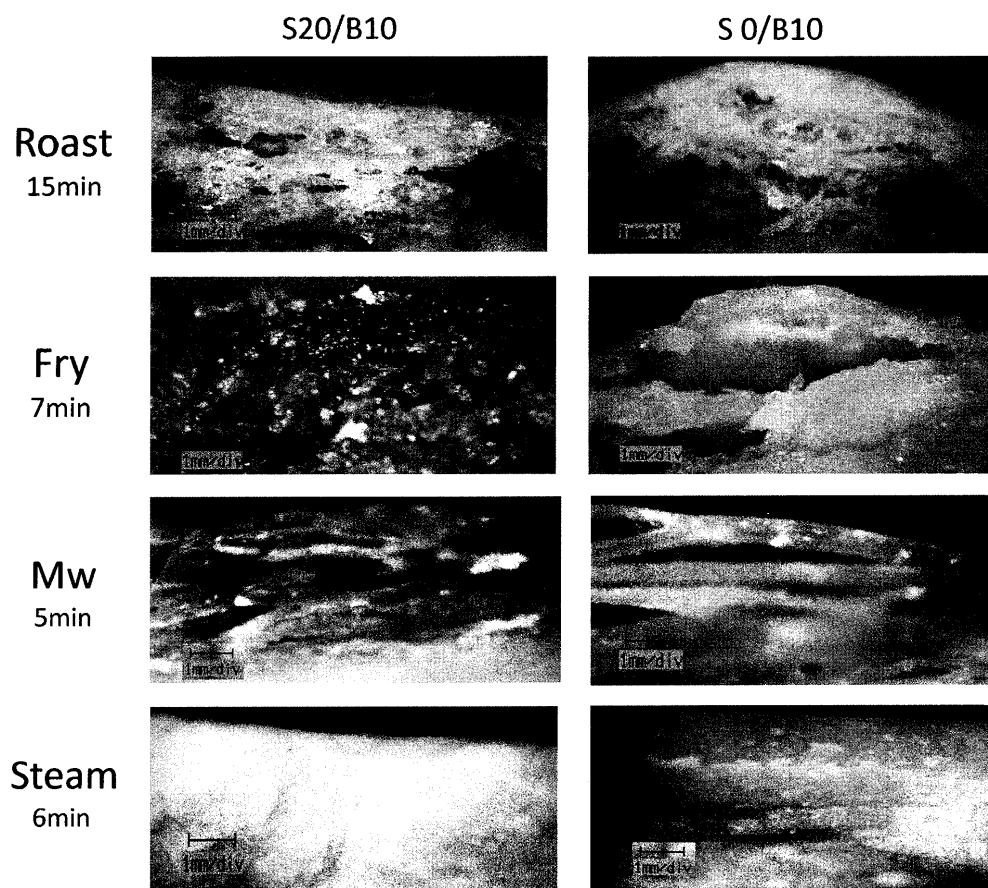


Fig. 8. Microscope observation for the main heating samples with S20/B10 and S0/B10 composition

領域も特定できた。(3) マイクロ波加熱には蒸し加熱と似た湿熱加熱効果があり同時に乾燥効果もあるため硬化現象を発現しやすいことが裏づけられた。

## 要 約

クッキー様の生地〔砂糖 (S) 0~20/バター (B) 0~10/水40/小麦粉 100〕を焼き、揚げ、蒸し、マイクロ波加熱した後に乾燥・調湿し、加熱処理がテクスチャー、糊化度、官能評価に及ぼす影響を調べた。

- (1) 材料配合別では加熱法にかかわらず、S0/B10<S20/B10<S20/B0の順に硬化した。
- (2) R.H. 23%では加熱法による硬さの差が少なかったが、R.H. 88%付近の高湿度では焼き加熱<揚げ加熱≤マイクロ波加熱<蒸し加熱の順に硬化度が増し、硬化ピークが大きくなった。
- (3) S20/B10 試料の硬化ピークは吸着水分 9~16 g/乾物 100 g の範囲にあり、硬い試料ほど硬化ピークの吸着水分量が多くなった。
- (4) 蒸し加熱試料とマイクロ波加熱試料は硬い、歯ごたえがあると評価され、官能評価値と R.H. 88%の破断特性値との間に高い相関が得られた。
- (5) 糊化度（特に溶出デンプン量）と R.H. 88%の破断物

性値との間に高い相関が得られた。

- (6) マイクロ波加熱には蒸し加熱と似た湿熱加熱効果があり、同時に乾燥効果もあるため硬化現象が発現しやすいと考えられる。

## 文 献

- 1) 肥後温子, 和田淑子 (2005), 低水分においてマイクロ波加熱した焼成菓子類の破断物性, 食科工誌, **52**, 297-305
- 2) 和田淑子, 小川慶子, 肥後温子 (2002), 吸湿による市販菓子類の破断特性値の変化とその要因, 食科工誌, **49**, 771-781
- 3) 村勢則朗, 佐藤清隆編 (2000), 「食品とガラス化・結晶化技術」, サイエンスフォーラム, pp. 1-48
- 4) Marzec, A. and Lewicki, P. P. (2006), Antiplasticization of cereal-based products by water, Part 1, Extruded flat bread, *J. Food Eng.*, **73**, 1-8
- 5) Pitta, P. and Sacchetti, G. (2008), Antiplasticization effect of water in amorphous foods, *Food Chem.*, **106**, 1417-1427
- 6) 日本調理科学会編 (2006), 菜種法, 「新版調理科学事典」, 光生館, p. 382
- 7) 肥後温子, 和田淑子 (2008), 加工小麦デンプンがクッキー様焼成品のテクスチャー特性に及ぼす影響, 食科工誌, **55**, 224-232
- 8) 肥後温子, 和田淑子 (2009), 米粉, 小麦粉およびそのデンプン焼成品の破断特性, 食科工誌, **56**, 520-528

- 9) 肥後温子, 和田淑子 (2011), 湿度・温度がマイクロ波焼成菓子の破断物性に及ぼす影響, 日調科誌, **44**, 21-30
- 10) 野口駿 (1992), 「食品と水の科学」, 幸書房, 東京, p. 179
- 11) Sato, Y., Wada, Y. and Higo, A. (2010), Relationship between monolayer and multilayer water contents, and involvement in gelatinization of baked starch products, *J. Food Eng.*, **96**, 172-178
- 12) Sato, Y., Wada, Y. and Higo, A. (2010), Analysis of water layers and the extent of gelatinization for commercial starch products, *J. Food Eng.*, **100**, 201-207
- 13) 和田淑子 (1999), 焼菓子のテクスチャーと物性に関する研究, 家政誌, **50**, 903-914
- 14) 倉賀野妙子, 和田淑子, 木原浩 (1991), 固体脂指数, 脂肪酸組成の異なる油脂を用いたクッキーの物性, 家政誌, **42**, 611-620
- 15) 伊藤友美, 安達卓生, 山田哲也 (2008), クッキー様菓子中の澱粉特性に及ぼす各種油脂の影響, 食科工誌, **55**, 56-62
- 16) 和田淑子, 倉賀野妙子 (2001), 低水分小麦粉生地への膨化と食感形成における砂糖の機能, 日調科誌, **34**, 366-372
- 17) 貝沼圭二, 八田珠郎 (2004), 「澱粉科学の事典」, 朝倉書店, 東京, p. 60
- 18) 竹田靖史 (2007), 澱粉の分子構造と食品のおいしさ, 日調科誌, **40**, 357-364
- 19) 肥後温子, 野口駿 (1987), マイクロ波加熱によるパンの硬化過程, 食工誌, **34**, 781-787
- 20) Helmes, Z. A. and Soeldner, A. (1981), Effect of heating rate and freezing and reheating of corn and wheat starch-water dispersions, *J. Am. Diet. Assoc.*, **78**, 352-355
- 21) 三木英三, 造田英孝, 山野善正 (1996), 小麦粉生地の粘着性, 食科工誌, **43**, 472-479
- 22) 長尾慶子 (1995), 食品の加熱加工時に発生する亀裂現象, 日調科誌, **28**, 265-273
- 23) 高橋徹 (2005), 加熱処理米粉による食品のテクスチャー改善効果, ジャパンフードサイエンス, 26-30

(平成 23 年 10 月 19 日受付, 平成 24 年 5 月 2 日受理)

#### 和文抄録

焼き, 揚げ, 蒸し, マイクロ波加熱処理を行ってクッキー様の製品を作り, 加熱処理が水分調整後のテクスチャー, 糊化度, 官能評価に及ぼす影響を調べた。

- (1) R.H. 23%の吸湿条件では加熱法による硬さの差が少なかったが, R.H. 88%では焼き<揚げ<マイクロ波<蒸し加熱製品の順に硬化する傾向があった。
- (2) 硬化ピークが出現したのは, 水分 9~16 g/乾物 100 g の範囲であった。
- (3) 蒸し加熱試料とマイクロ波加熱試料は硬い, 歯ごたえがあると評価され, 官能評価値と R.H. 88%の破断特性値との間に高い相関が得られた。
- (4) 糊化度(溶出デンプン量など)と R.H. 88%の破断物性値との間に高い相関が得られた。
- (5) マイクロ波加熱には蒸し加熱と似た湿熱加熱効果があり, 同時に乾燥効果もあるため硬化現象が発現しやすいと考えられる。