特集

揚げ加熱で起こる破裂と亀裂の機構*

Mechanism of Burst and Crack during Deep Frying

香 西 みどり **

KASAI Midori

Abstract Expansion of foods during cooking sometimes causes crack and burst. Burst is undesirable, while crack is desirable in some cases. Karinto with no sugar occasionally causes burst involving danger and cracks in doughnuts are generally favorable. Crack during deep frying is caused when the internal pressure of sample exceeds the cracking pressure of outer layer. Factors of internal pressure of samples are temperature increase and expanding ratio, and those of cracking pressure are thickness, tensile strength, and size and shape of the sample. The value of both internal pressure and cracking pressure can be calculated by using these data. The predicted timing of cracks in doughnut were confirmed in the experiment under various conditions. Mechanism of burst and crack during deep frying was proposed and it was expected to be applicable to the prediction and control of crack in food processing.

Keywords: Burst, Crack, Deep frying, Internal pressure, Cracking pressure

1. 緒 言

本稿は2018年9月1日、2日に行われた第二回キッチン地球科学研究集会で行った講演「膨化を伴う調理で起こる破裂と亀裂」がきっかけで、特集記事としての原稿依頼を受けたものである。著者の専門分野は調理科学であり、地球科学とのつながりは一見なさそうであったが、食品の調理過程で起こるさまざまな現象に膨化や小さな爆発が起こることを思い、共通点があると考えた。

火山分野での爆発現象は気相の生成と膨張といった相変化に媒体の粘性増加が加わったときに起こるものであり、爆発のメカニズムや予測的研究がなされる。一方、調理分野の膨化現象には膨張を伴う気体の発生があり、その一部が放出されつつ、成分の変性と乾燥がもたらす生地硬化が関わって起こる。ここで膨化は起こってほしいが、破裂は望ましくない。すなわち調理では“破

裂しないで、うまく膨化が起こるようにする”工夫が必要である。一方、破裂の前段階で起こる亀裂は好ましい場合もある。

本稿では膨化を伴う調理で発生する破裂や亀裂の現象の把握と機構の解明を試み、嗜好性の高い調理品を作るうえで重要な予測と制御の視点から亀裂・破裂にアプローチした研究を紹介する。

2. 小麦粉調理における亀裂・破裂の具体例

調理で起こる亀裂・破裂の前には必ず膨化が起こっている。加熱は膨化させるための操作であるが、外皮との力関係によっては亀裂や破裂が発生する。調理過程で亀裂を生じる場合は、その亀裂が調理品の外観を特徴づけるものとして好ましい場合や、外観を損なう好ましくない場合がある。亀裂は外皮の応力と内側の内容物とのせめぎ合いの結果生ずることから、好ましい仕上がりにす

* 2020.8.7 受付

** お茶の水女子大学基幹研究院 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

TEL: (03)5978-5761 FAX: (03)5978-5760 E-mail: kasai.midori@ocha.ac.jp

るには予測と制御に関わる情報が必要である。

亀裂が発生する調理例としてははじめから外皮に皮がある場合と加熱中に皮が形成される場合がある。外皮がある例としてコロッケ、黄身時雨(生菓子)などがあり、前者では亀裂は好ましくなく、後者では好ましい。一方、加熱中に外皮が速やかに形成される調理例としてかりんとう、ドーナツ、開口笑(中華菓子)などがある。かりんとうは条件によっては亀裂から危険を伴う破裂に至ることがあり、ドーナツの亀裂は発生場所によって好ましが異なり、開口笑はその名から口を開けて笑ったようにみえ、亀裂をうまく利用した揚げ菓子である。これらに対して皮形成が緩慢な場合は好ましくないことが多く、特に餡入り饅頭のように中身がある場合の亀裂は許されない。

このように小麦粉を用いた調理では材料配合、加熱法にかかわらず亀裂が発生し、好ましさの程度も様々で、時として亀裂から破裂に至る。

本稿では、破裂を研究対象としたかりんとうの実験、はじめから外皮があるコロッケ、加熱中に外皮が形成されるドーナツの亀裂発生機構について解説する。

3. かりんとうの破裂の機構

3.1 かりんとうの破裂事例

小麦粉調理において小麦粉に約 50 %の水を加えてこねた生地をドウといい、ドウを揚げ加熱するものにかりんとうやドーナツがある。かりんとうは小麦粉に水、砂糖、ベーキングパウダー(B.P.)を加えて油で揚げのお菓子であるが、揚げている最中に一部が破裂すると同時に破片が高温の油から飛び出すことがある[1]。戦後間もない頃、高知県の中学校でかりんとう作りを実習したところ、揚げる際に破裂して破片で生徒が火傷をしたという事例があり、他校でも同様のことが起こったという。当時は手作りの菓子としてかりんとうがよく教材にされていたが、このような破裂は戦前には聞かなかったということである。

なぜ破裂が起こったかを調べたところ、①材料の小麦粉は生徒が持参しており、教員が指示した量より多い、②B.P.は教員が用意したので分量通り、③砂糖は当時貴重品なためドウに加えずに揚げたあとに衣がけ用としてとっておいた、ということがわかった。通常のかりんとうが破裂しないのは、B.P.により発生する二酸化炭素が生地を多

孔質にし、砂糖の親水性が強いため遊離の水が少なくなる結果水蒸気発生が抑えられているためである。これに対して、破裂した事例では、小麦粉に対して B.P.が適量よりかなり少ない配合となったために多孔質とならず緻密な状態になり、さらに砂糖がないために遊離の水が多く水蒸気発生が起こりやすくなったことが考えられた。

3.2 揚げドウを用いた実験

このかりんとう破裂の機構を探るための実験が調理科学研究者によって行われた[2]。一回の手ごねの小麦粉は 100 g、水は 50 g とし、揚げ条件は $170^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ で 4 分間とした。ドウをこね、麺棒で 0.6 cm 厚さ、幅 1 cm、長さ 5 cm に切断したものを揚げ実験に使用し、亀裂、破裂の状態を観察した結果を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 Classification of burst of doughnut.

破裂音の大小で分類されているが、特に烈しく破裂してそれ自身も油から飛び出し非常に危険を伴うものは烈としている。ドウの加熱が油を媒体として急激に行われると、ドウ中に発生した水蒸気は外皮に強度があれば閉じ込められ、蒸気圧が増大すると破裂すると考えられた。この皮の強度に影響を与える要因としてドウのこね回数やねかし時間、デンプン量やグルテン量が考えられ、これを明らかにするための実験が行われた。その結果、こね回数が多いほど、ねかし時間が短いほど、またデンプンが多いほど、グルテンが少ないほど、ドウを揚げたとき破裂しやすいことがわか

った。こねることで均質な緻密な生地となって蒸気の発散が抑えられる。また Table 1 に示すように、ねかし時間が短いと伸長抵抗 (F) が大きく、伸長度 (E) が小さくなるので形状係数 (F/E) が大きくなり皮が堅固になったと考えられた。

Table 1 Values of extensogram of dough during standing (mixed water 50%).

ねかし時間 (hr)	伸張抵抗 F mm	伸長度 E	形状係数 F/E
0	18.6	4.7	4.0
3	3.9	14.1	0.3
6	2.9	12.5	0.2
24	—	—	—
24時間ねかし 後再手ごね	7.4	7.0	1.1

成分に関してはデンプンが多いほど、またグルテンが少ないほど生地の形状係数が大きく皮が堅固なため破裂しやすいことが明らかになった。デンプンの影響は糊化による皮の強化であり、グルテンは水と結合することで自由な水が減少して蒸気発生を抑えることとなるのでグルテンが少ないと蒸気圧増加が起こりやすい。小麦粉が古くなるとグルテン活性低下により実質のグルテン減少となり、実際に古い小麦粉で作ったかりんとうが破裂しやすいことも実験で確認された。

3.3 砂糖添加ドウの実験

松元らは副材料なしの場合のドウの破裂であったが[2]、松本は砂糖の影響を調べるために小麦粉に対して 5-20 %添加した実験を行った[3]。その結果、粉に対して砂糖添加 7.5 %までは破裂したが、10 %以上では破裂は起こらず、砂糖添加は明らかにドウの破裂防止の効果があった (Table 2)。また砂糖添加量が多いほど揚げたドウの水分減少は大きく、脱水速度も大きかった。すなわち砂糖添加ドウは揚げたとき、砂糖が多いほどドウ内部の蒸気圧が小さくなるので、内部圧は小さくなり、一方で外皮は砂糖の添加で硬く[4]なるため、破裂しにくくなる。以上、かりんとうの破裂防止に砂糖の親水性が大きく影響していることが明らかになり、甘味以外の重要な役割を示した。

Table 2 Burst of fried dough with sugar.

添加 砂糖量	破 裂 音				亀 裂*	破裂・亀裂のないもの
	小	中	大	烈		
5.0%	3%	2%	12%	0%	60%	40%
7.5	7	2	2	0	30	70
10.0	0	0	0	0	5	95
15.0	0	0	0	0	0	100
20.0	0	0	0	0	0	100

破裂・亀裂は 60 本揚げに対する % を示す。

* 亀裂は破裂音のないものも含む。

3.4 破裂ドウの顕微鏡観察

松本が揚げドウの形態を顕微鏡で観察した結果、破裂したドウでは気泡の状態や染色したデンプンの糊化状態が明らかに異なっている様子が確認できた[5] (Fig. 2)。

上段は破裂ドウで 2 分半揚げ、a : 外周部、b : 亀裂部、c : 内部。
下段は破裂しないドウで 4 分揚げ、d : 外周部、e : 内部。
凍結切片、PAS 反応。(100 倍)

Fig. 2 Burst of fried dough (upper).

Fig. 2 の上段は砂糖なしのドウを 2 分半揚げて破裂したもので、左から外周部、亀裂部、内部であり、下段は同じドウを 4 分揚げても破裂しないもので左から外周部、内部である。上段は加熱による蒸気圧で澱粉粒は変形・配向し、グルテンに密着して引き延ばされたが、下段の澱粉粒は変形しても配向していないことがわかった。また上段の破裂ドウの気泡は全体に大きく、内部の気泡の周辺には著しい糊化がみられたことから、破裂に至るほど気泡が成長するときは気泡を区切っている薄いデンプンの膜が破れてつながってしまうことが推察された。砂糖 5 %添加でも破裂したドウは同様の傾向がみられた。これに対して、砂糖添加により破裂しなかったドウのデンプン粒は膨潤・糊化が妨げられ、変形しても配向は示さ

ず、気泡は小さかった。これは砂糖添加で蒸気圧が減少し、気泡が成長せずに分散したためと松本は考察している。

戦後の砂糖が貴重な時代に起きた砂糖無添加かりんとうの破裂は、現在では起こりえないことであるが、強い親水性という砂糖の調理性が破裂防止に通じる興味深い事例となった。

4. コロケの破裂の機構

4.1 コロケの破裂

コロケはかりんとうとは異なり、はじめから外皮を有しており、油で揚げることによって衣がカリとする一方で、中身がやわらかいというテクスチャーの対比が特徴的である。揚げ途中に衣が破裂することによってこのようなテクスチャーの特徴が失われることがあり、調理では破裂が起こらないような工夫が必要である。

コロケの破裂の現象把握と機構の解明を行った長尾らの研究[6-8]によると、衣の厚さが 1 mm の薄い場合[7]と 2~4 mm の厚い場合[8]では機構が異なる。皮 1 mm 試料は局部亀裂であって外皮強度を表層部の飽和蒸気圧が上回った時に破裂が起こり、皮が 2~3 mm になると全体亀裂が起こって外皮強度を内容物の体積膨張による内部圧が上回ったとき破裂する。しかし、4 mm 厚さになると皮が強固で内部圧がこれを上回らないため破裂しないことを明らかにした。

4.2 外皮が 1mm の薄い場合

マッシュポテトを中身とし、小麦粉バター（小麦粉 35 g に水 65 mL）を付着させ（厚さ 0.4 mm）、パン粉をまぶして厚さ約 1 mm の衣としてコロケ破裂の現象を把握した。中身の水分が少ないほど、また油温が高いほど破裂は起こりにくい、破裂したときの中心温度は油温によらず 22~23 °C であり、破裂はコロケ外皮の内部と境界近辺（表層部）で起きていることを観察した。温度を測定すると、揚げ加熱では表層部のみ 100 °C 以上となっており、破裂はコロケ表層部の蒸気圧と油温に影響される皮の強度が関与していると考えられた。

そこで皮の強度とコロケ表層部の水蒸気圧を求め、皮の破断強度も圧力に換算し、同時に示した結果が Fig. 3 である。図の実線は飽和蒸気圧を示しており、箱型の記号で示した各温度における皮の圧力換算値にはかなり幅はあるものの、破

裂しなかった皮の圧力換算値（水玉模様）は大体において飽和蒸気圧線の上側に分布し、一方破裂しやすい皮のそれ（縞模様）は下側に分布していた。以上より、コロケ表層部の飽和蒸気圧が皮の圧力換算値よりも大きい場合に、皮が蒸気圧を支えきれずコロケは破裂すると考えられた。

Fig. 3 Converted pressure value of croquette.

4.3 外皮が 2-4 mm と厚い場合

次に衣を重ねづけして 1 mm から 4 mm の範囲で厚さを変えた場合について検討した結果、衣が 1 mm のときの破裂とは異なる機構であることが明らかになった。衣が 2 mm および 3 mm の場合はすべて外皮の中央付近から長軸方向に亀裂が入り、内容物が飛び出るような破裂がみられた。外皮近傍部の飽和蒸気圧と皮の破断強度との関係を調べた結果、Fig. 4 に示すように皮の厚さ 2 mm および 3 mm 試料の飽和蒸気圧は外皮の破断強度より著しく小さく、1 mm 試料のような飽和蒸気圧による破裂は起こらないはずであった。それにも関わらず 2 mm および 3 mm 試料で長軸方向に亀裂が入ったことから、内容物全体の内部圧が関与していると仮定して考察した。

コロケの内部圧を計算する際は、円筒の表面に働く内部圧の式として、長軸と直角方向に内部圧が働き、縦に亀裂が入る場合の内部圧 P_b を求める式を用いた。

$$P_b = \delta \cdot \sigma / R \quad (1)$$

P_b は内部圧 (N/cm²)、 δ は厚み (mm)、 σ は皮の引っ張り強さ (N/cm²)、 R はコロッケ内容物半径 (mm) である。揚げたコロッケからはがした外皮の引張強度 σ 、コロッケ内容物の直径 R 、厚み δ を測定して右辺に代入するとそのときの内部圧が算出される。実際の内部圧がこれを上回るときに破裂が起きる。計算するとコロッケの揚げ時間が長くなるほど内部圧は増大し、皮が厚い試料ほど内部圧も大きかった。破裂時の内部圧は 2 mm および 3 mm 試料で 2~3 N/cm² であり、破裂時の平均内部温度は平均 63.5 °C であった。

Fig. 4 Change in converted values of saturated vapor pressure and strength of outer layer with frying time.

ここでコロッケの外皮および内容物は加熱によって膨張するので、内容物の膨張量が外皮のそれを上回るとき破裂が起ると考えられる。外皮から算出されるコロッケの体積膨張は次式により得られる。

$$Er = \{ (1 + \Delta l / l) \cdot 3 - 1 \} \times 100 \quad (2)$$

Er は体積歪、 l は試料の長さ (cm)、 Δl は伸びた長さ (cm) である。本式における体積歪を外皮から算出する体積膨張量とみなすと、皮の厚さ 2 mm 試料および 3 mm 試料の破裂時の体積膨張量はそれぞれ約 6.3 %、7.5 % であった。次に内容物のみを加温した場合の体積膨張量を測定し、実際に破裂が起るときの温度領域の膨張量は約 7.5 % であった。実際には形成された外皮によ

って膨張が抑えられるので、圧縮による内容物の体積歪を求めることとし、これに必要なコロッケ内容物の体積弾性係数を求めるための圧縮試験を行った。体積弾性係数は次式により求められる。

$$K_v = p / E_v \quad (3)$$

K_v は体積弾性係数 (N/cm²)、 p は圧力 (N/cm²)、 $E_v(-)$ は圧縮体積歪である。得られた K_v を用いて圧縮体積歪を概算した結果、破裂時に皮によって周りから押さえられる圧縮体積歪の割合は 1 % 弱となった。そこでコロッケの外皮の伸び率および内容物の両面からそれぞれコロッケの体積膨張量を計算し、体積膨張量の揚げ時間に伴う変化を Fig. 5 に示した。内容物の膨張量については各揚げ時間ごとに圧縮体積歪を算出し、これを差し引いた補正体積膨張量も図中に示してある。いずれの試料も揚げ時間が短いときは棒印で示した外皮から算出した体積膨張量のほうが大きい。加熱時間とともに実線で示した内容物膨張量が増大し、2 mm 試料では 2 分、3 mm 試料では 3 分付近で逆転し、このとき破裂した。一方、4 mm 試料では 3 分加熱しても逆転せず、破裂はみられなかった。

以上、長尾らの研究により衣が厚いコロッケの破裂の機構は薄い衣の場合と異なり、温度上昇に伴うコロッケ内容物の膨張によって内部圧が高まり、それによる引張応力が外皮の引っ張り強さを上回ったときに亀裂が発生すると考えられた。

Fig. 5 Relation among the calculated expanding volume from outer layer, contents and expanding volume.

5. ドーナツの亀裂の機構

5.1 亀裂の種類

ドーナツはかりんとう同様、加熱が外皮形成をもたらす試料であるが、砂糖に加えてバターを含んでおり、かりんとうより加水量も少ない。このようにかりんとうとは材料配合も形状も異なるドーナツでは、亀裂の程度によって嗜好性が高まる[9]。ここで起こる亀裂は外皮に割れ目が生じるような全体亀裂の現象であり、破裂を伴わない。ドーナツの亀裂の現象把握と機構の解明を行った長尾らの研究[10-12]により様々な亀裂発生の予測と制御に貢献した。

ドーナツを160℃で3分間揚げる過程で発生する亀裂には Fig. 6 に示すように上面(top)にみられる上面亀裂、外側(outside)にみられる外側亀裂、内側(inside)にみられる内側亀裂がある。内側亀裂は材料配合によらず0.5分くらいで発生する。バター、砂糖、牛乳が少ない配合では上面亀裂が減少し、砂糖と卵の多い配合では側面亀裂が抑制されるなど材料配合によって上面亀裂、側面亀裂の発生が異なる。官能評価によると側面亀裂の存在は良い評価を与えず、上面亀裂の存在が嗜好を高めており、砂糖、卵が多く、バターが少ない配合が外観評価がよいとされた。

Fig. 6 Three types of crack.

5.2 材料配合の影響

そこで Table 3 に示すようにバターが0の試料A、砂糖が少ない試料B、バターも砂糖も多い試料Cを揚げた結果、主として起こる亀裂がAは内側、Bは外側、Cは上面と異なっていた。このように配合の違いが発生する亀裂の種類に影響することが明らかになったので、次に揚げ途中にドーナツの内部圧が外皮の強度(亀裂圧)を上回るときに、亀裂が発生すると仮定して、内部圧と亀裂圧の関係を調べた。

ここで亀裂圧は次式により算出した。

$$p_k = \sigma_s \delta (1/r_1 + 1/r_2) \quad (4)$$

σ_s は亀裂発生臨界点での試料外皮部の引張応力である。 δ は外皮厚さ (mm)、 r_1 、 r_2 は外皮表面での主曲率半径(m)である。 σ_s は試料を Fig. 7 に示すような独自の引張破断試験にかけ、リング断面に対する引張破断応力から求めた。

Table 3 Ingredients of doughnut.

	試料A	試料B	試料C
主たる亀裂部位→	内 側	外 側	上 面
— 試料成分組成 (%) —			
薄 力 粉	55.00	60.00	50.00
ベーキングパウダー	1.65	1.80	1.50
バ タ ー	0	5.00	10.00
砂 糖	19.42	8.47	17.98
卵	10.79	7.48	12.72
牛 乳	13.14	17.25	7.80

水分量: 各試料とも薄力粉の50%

内部膨張圧 p_i は次式により算出した。

$$p_i = \varepsilon_p (\text{体積歪}) \times K_p (\text{体積弾性係数}) \quad (5)$$

体積歪 $\varepsilon_p \doteq V_T/V-1$ (歪が小さい場合)

ただし、 V_T は加熱前(20℃)内容物体積に対する各温度における膨張による内容物体積増加倍率、 V は各揚げ時間における製品の体積増加倍率、 K_p は体積弾性係数であり、 E をヤング率、 ν をポワソン比とすると $K_p = E/3(1-2\nu)$ である。

Fig. 7 Measurement of tensile strength.

Fig. 8 に配合の異なる試料A、B、Cについて加熱時間とともにドーナツの内部圧と上面、外側、内側の亀裂圧がどのように変化するかを示した。図中の➡は内部圧が亀裂圧を上回り、破裂が起こ

った時点である。砂糖が多く、バターが入っていない試料 A は 60 秒で内部圧 p_i が内側亀裂圧 p_k を越え内側亀裂を起こしたのみであるが、バターも砂糖も多い試料 C では約 60 秒で内側亀裂が起こったのち、70 秒を過ぎて内部圧が上面亀裂圧も上回って上面亀裂を起こした。一方、バターも砂糖も少ない試料 B では内側亀裂に続いて望ましくない外側亀裂を起こしている。計算による内部圧が外皮の各部の亀裂圧と拮抗する領域では

Fig. 8 Relation between internal pressure (p_i) and cracking pressure (p_k) of doughnut.

亀裂が発生せず、内部圧がそれを上回った時点で亀裂があらわれると予測されるが、実際に理論通りに亀裂が起こることが実験において確認できた。

5.4 加熱法の影響

外皮の形成には加熱法の影響も考えられるので、揚げ加熱と比較して蒸し加熱、天火加熱では亀裂の発生がどのように異なるかを検討した。熱の伝わり方を見ると、揚げ加熱では熱媒体である油からの対流熱伝達であり、蒸し加熱では熱媒体の水蒸気が試料表面で凝縮する際の潜熱による加熱で、天火加熱では放射伝熱や空気からの対流

熱伝達と同時に水分蒸発に伴い奪われる潜熱の影響がある。

Fig. 9 において、蒸し加熱や天火加熱では○で示した内部圧に対する各部の亀裂圧の増加が揚げ加熱に比べて遅れているといえる。蒸し加熱 (98 °C) では内部圧が亀裂圧を上回らないので亀裂は発生せず、揚げ加熱 (160 °C) では内側亀裂が 60 秒付近で発生しているのに対して天火加熱 (200 °C) では 150~200 秒で発生するのが予測され、実験的に検証された。別に行った温度測定では、それぞれの加熱法で中心温度が 80 °C に達するまでの時間は揚げ加熱では 70~80 秒、蒸し加熱では 110~130 秒、天火加熱では 180~220 秒である。試料中心温度が 85~90 °C の範囲は生地デンプンの糊化とタンパク質の変性が終了しており、外皮が硬くなって膨化が停止する。天火加熱において揚げ物よりも亀裂発生が遅くなるのは温度上昇が遅いことに対応し、いずれも膨化が終了する手前のタイミングであり、このときの外皮の強度が亀裂発生を決定する。

Fig. 9 Effect of cooking methods on internal pressure (p_i) and cracking pressure (p_k) of doughnut sample (A).

6. 亀裂発生理論の有効性

長尾[6]はコロッケとドーナツの亀裂発生の機構解明を行い、その亀裂発生理論を一般化して亀裂の予測と制御を可能にした。食品の加熱加工における亀裂現象に本理論を適用するための必要なパラメーターは、試料の内部温度上昇 (T) と膨張率 (α_v) から計算される内部圧 (p_i) と、亀裂限界圧 (p_k) すなわち亀裂圧であり、この亀裂圧を支配する要因として、試料の形状 (曲率の変化、 r_1 、 r_2)、外皮部の組織の厚さ (δ)、および外皮の力学的強度 (σ_s) をあげている。提案した亀裂発生予測理論の妥当性を過去の実験データを用いて以下のような検証を試みた。

ドーナツをとりあげた最初の研究論文[13]において砂糖を増やしたり、卵を減らすと外観の評価が下がるとしているが、これについては配合比を変えることで試料形状の大きさ (r_1 、 r_2) および外皮強度 (σ_s) をある程度予測でき、亀裂圧 (p_k) が変わった場合の保形性を推測できるとしている。またかりんとう破裂に関する揚げドウの実験[3,5]で砂糖添加試料に破裂の抑制効果が認められたことに対して、長尾の理論式で確認すると砂糖添加により外皮強度が大きくなることからその亀裂抑制効果が実証できるとしている。このようにかつてなされた現象把握が現在の調理科学研究に基づいて構築された理論によって解明されることは、一見複雑な現象でも普遍性のある理論で説明できることを意味している。

7. 結 言

本稿では調理における破裂・亀裂の現象が、加熱中に増大する小麦粉生地内部圧が外皮の亀裂圧を上回るときに起こることを解説した。調理過程でおこる諸現象に法則性を見出し、一般化して理論的に考察することが、最適調理条件の予測と制御を可能にする。調理科学は基礎と応用の両視点が必要な実践的科学であり、現象把握から機構解明に至る過程そのものが実践に役に立つ学問分野である。本稿で紹介した小麦粉調理品の破裂と亀裂の現象把握と機構解明に関する研究のプロセスは、おいしさの科学とともに食品加工に

おける調理操作の発展に貢献できるものと期待している。

参考文献

- [1] Matsumoto, F., Food and Water, 105-108, Kaseikyoikusha (1988)(in Japanese).
- [2] Matsumoto, E., Takano, K. and Matsumoto, F., Studies on the Cookery with Wheat Flour (Part 4) Experiment on the Frying of Dough under the Certain Conditions, Kaseigakuzasshi, Vol. 12(4), 301-304 (1961).
- [3] Matsumoto, E., Experiment on the Explosion of Frying Dough (Part 2), Kaseigakuzasshi, Vol. 15(4), 198-202 (1964).
- [4] Wada, Y., Kuragano, T. and Hasegawa, M., Effect of Ingredients Ratio on Shortness and Hardness of Cookies-The Relation ship between Sensory Evaluation and Instrumental Measurements, Kaseigakuzasshi, Vol. 34(10), 609-615 (1983).
- [5] Matsumoto, E., Experiment on the Explosion of Frying Dough (Part 3) Microscopic Observation on the Structure of Fried Dough, Kaseigakuzasshi, Vol. 21(1), 19-23 (1970).
- [6] Nagao, K., Cracking of Foods during Cooking Processes -Prediction and Control, J. Cookery Sci., Vol. 28(4), 265-273 (1995).
- [7] Nagao, K., Kato, Y., Hatae, K. and Shimada, A., Factors Affecting the Rupture of the Croquettes, J. Home Econ. Jpn., Vol. 39(7), 677-682 (1988).
- [8] Nagao, K., Hatae, K. and Shimada, A., Factors Affecting the Rupture of the Croquettes (Part 2), J. Home Econ. Jpn., Vol. 40(5), 373-377 (1989).
- [9] Nagao, K., Yokokawa, T., Hatae, K. and Shimada, A., Relation between Crack and Recipe and Quality of Doughnuts, Chourikagaku, Vol. 27(1), 25-30 (1994).
- [10] K. Nagao, K. Hatae and A. Shimada, Cracking Mechanism in Doughnuts during Deep Frying, J. Home Econ. Jpn, Vol. 45, 211-218 (1994).
- [11] Nagao, K., Hatae, K. and Shimada, A., Controlling the Cracking of Doughnut, J. Home Econ. Jpn., Vol. 45(6), 533-538 (1994).
- [12] Nagao, K., Hatae, K. and Shimada, A., Occurrence of Cracks on the Surface of Doughnuts in the Processes of Steaming and Baking, J. Home Econ. Jpn., Vol. 47(1), 37-47 (1996).
- [13] Matsumoto, F. and Otake, S., Study on Cooking of Food containing Oil (Part 1)-Doughnut-, Kaseigakuzasshi, Vol. 8(4), 154-157 (1957).