

# コロッケの破裂の機構

——加熱前の冷却・解凍条件——

長 尾 慶 子

## I 緒 言

日常惣菜料理として一般に親しまれているコロッケのおいしさには、中身の柔らかさとカラリとした衣のテクスチャーが大きく影響している。

しかし、中身を柔らかくすると、すなわち水分量を多くすると揚げ途中で破裂が起きやすくなる<sup>1)</sup>。

著者らはコロッケの揚げ加熱中の破裂の機構を検討しており、破裂には外皮近傍部で起こる表層部破裂と内容物の熱膨張により起こる全体破裂のあること、これら破裂は内部からの圧力が皮の強度を上回ったときに起こることを先に報告した<sup>1)2)</sup>。そこで、内容物の温度上昇を遅らせて内部からの圧力を低く抑えれば破裂は抑制できるのではないかと考え、5℃冷却（冷蔵試料）および-20℃冷却（冷凍試料）試料について検討した結果、外皮の厚さと内容物の加熱前温度が破裂の様相と破裂の程度に関係することおよび、薄衣コロッケの場合に加熱前試料温度を低くすることで破裂抑制に効果があることを認めた<sup>3)</sup>。今回は同じ家庭用冷凍冷蔵庫を用いて、-2℃冷却（パースシャルフリージング試料）および冷凍後-3℃解凍（冷凍後パースシャルフリージング試料）および4℃解凍（冷凍後冷蔵試料）処理をした試料の破裂の様相及び破裂の機構を調べることを目的とした。

## II 試料および実験方法

### 1. 材 料

ポテトコロッケの材料および揚げ油は前報<sup>1)~4)</sup>

同様、小麦粉（薄力粉、フラワー、日清製粉）乾燥マッシュポテト（雪印マッシュポテト、雪印乳業、水分7.8%）、パン粉（ソフトパン粉、富士食品工業）およびコーンサラダ油（味の素）を用いた。

### 2. コロッケの調製

コロッケ内容物の材料配合は前報同様<sup>2)3)</sup>、最も破裂しやすい配合割合とした。すなわちマッシュポテトに対し5倍量の湯を加えた内容物に35%小麦粉バターおよびパン粉を交互につけて外皮の厚さを1, 2, 3 mmの試料コロッケ（一個当たり約28 g,  $\phi 2.9 \times 3.7$  cmの俵型）を作り、フリーザーバッグにに入れて家庭用冷凍冷蔵庫（松下冷機・NR306, G-F）の冷凍室（ $-20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ）、パースシャルフリージング室（ $-3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ）、冷蔵室（ $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ）で、中心部温度が $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-2^{\circ}\text{C}$ および $5^{\circ}\text{C}$ になるまで冷却し、また冷凍後、パースシャルフリージング室および冷蔵室にて $-3^{\circ}\text{C}$ および $4^{\circ}\text{C}$ まで解凍し、 $180^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の油で揚げて試料とした。対称として冷却しない室温（ $20^{\circ}\text{C}$ ）試料も同様に調製して揚げた。揚げ時間は前報同様<sup>1)~4)</sup>、外側が適度な揚げ色となり、中心部が余熱時間を含め $70^{\circ}\text{C}$ 以上になる時間とした。

### 3. 物性測定項目

1) 内部温度測定 コロッケ外皮表層部、コロッケ外皮と内容物との境界部（外皮近傍部温度）およびコロッケ内容物の中心部温度を $\phi 1$  mmのK熱電対を用いて経時的に測定し、マルチチャンネルデジタルレコーダー（TR 2721 A タケダ理研）で自記させた。

2) コロッケ外皮の強度測定 一定時間揚げ加熱したコロッケの外皮のみをはがし、約

0.5cm×3cmの短冊型に切り取り幅と厚さをノギスで正確に測定したのち、引張強さ(N/cm<sup>2</sup>)および伸び率( $\Delta l/l$ )をネオカードメーター(飯尾電気M-302)で測定した。スプリング重量800g、試料長さ( $l$ )は2cmとした。 $\Delta l$ は破断時の伸び(cm)である。また外皮約2.5cm四方に切り取り、カードメーターマックス(飯尾電気・ME-303)で破断強度を測定した。感圧軸直径3mm、スプリング重量およびウエイト400gとした。

3) 外皮および内容物の水分含量 プラスチックフィルム常圧105℃乾燥法<sup>5)</sup>で測定した。揚げ加熱前の試料を調製貯蔵後、外皮と内容物とに分けてそれぞれ1.5および2.5g程度を採取して水分量を測定した。測定数は10回としその平均値をとった。尚、内容物については外皮境界部から約0.5cmまでの部分は除いた中の部分を用いた。

### III 結果および考察

#### 1. 冷却時間の決定

冷却中のコロッケ中心部温度を経時的に測定し、一定温度になるまでの時間を冷却時間とした。図1に2mm衣試料の温度履歴を示したが、1及び3mm衣試料の温度履歴も2mm衣と差はなかった。冷凍試料は40分間で-0.5℃まで下がり、その後約1.5時間から再び下降し始め、冷凍開始後約7時間で-20℃に一定した。-3℃解凍試料は冷凍処理後の試料をパーシャルフリージング室に移してから13時間後に-3℃で一定となった。4℃解凍試料は冷凍処理後の試料を冷蔵室に移してから4℃で一定となるのに15時間を要した。-2℃冷却試料および5℃冷却試料は庫内温度に近づくのに長時間を要したのでそれぞれ-2℃及び5℃となる2時間を冷却時間と決定した。以下に試料の冷却時間を記す。

\* -2℃冷却試料：パーシャルフリージング室で2時間冷却

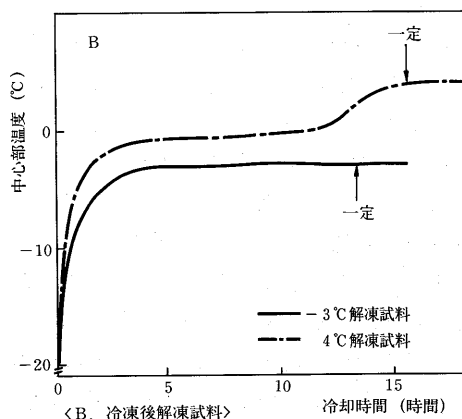
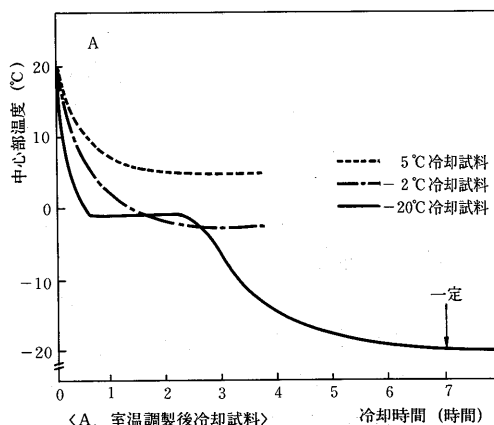


図1 試料冷却中の中心部温度

\* 冷凍後4℃解凍試料：7時間冷凍処理後冷蔵室にて15時間解凍

\* 冷凍後-3℃解凍試料：7時間冷凍処理後パーシャルフリージング室にて13時間解凍  
対称としての冷凍試料および冷蔵試料は前報同様<sup>3)</sup>、冷凍室で7時間冷却および冷蔵室で2時間冷却とした。

#### 2. 揚げ時間の決定

揚げ時間は前報<sup>1)~3)</sup>同様にして、余熱も含めて中心部温度が70℃以上になり、適度な焦げ色となる時間とした。以下に試料の揚げ時間を記す。

\* -2℃冷却試料：5分

\* 冷凍後4℃解凍試料：3.5分

\* 冷凍後-3℃解凍試料：5分

対称としての冷凍試料および冷蔵試料の加

熱時間は前報同様<sup>3)</sup> 5.5および3.5分とした。

なお表 1 に、コロッケの揚げ時間毎の余熱を含む中心部最高温度を示した。

表 1 試料コロッケの余熱を含む中心部最高温度 (°C)

揚げ時間 (分)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
試料の外皮 (冷却方法) 厚さ							
-20℃ 1				61	66	70	74
冷却 2				63	67	73	78
3					68	75	79
冷凍後 1			58	62	70		
-3℃ 2			60	66	73		
解凍 3			62	67	74		
冷凍後 1	68	70	78				
-4℃ 2	70	73	80				
解凍 3	72	75	80				

### 3. コロッケ加熱中の内部温度の変化

上記揚げ時間で加熱した 2 mm 衣コロッケの内部温度の経時変化は図 2 のようであった。いずれの冷却方法を用いた試料も、外皮近傍部温度は衣が薄い程高く、余熱を含む中心部温度は衣が厚いほど高くなる傾向がみられた。外皮近傍部とは外皮と内容物の境界付近であるから、衣の厚さに伴って油温の影響を受けにくく温度上昇が遅れるものと考えられる。どの試料も加熱前試料温度が低いため、加熱終了時でも 100℃ に達することはなかった。中心部温度については加熱終了後の余熱による温度上昇が大きく、その程度は衣の厚さに比例した。これは衣の厚いほうが放熱量が少なく、熱を保ち易いためと思われる。冷凍後 -3℃ 解凍試料の中心部温度は -20℃ 冷却試料と同様に加熱終了時に 20℃ に達していなかったが、その後の余熱 3.5~4 分で 70℃ までになった。それに比べて -2℃ 冷却試料は外皮近傍部および中心部共に加熱中の温度上昇が大きく他の試料に比べて特異的であった。パーシャルフリージング室の冷却温度域 (-3 ± 1℃) では試料中に氷と水の混在状態が考えられ、冷却温度 1℃ の差で温度上昇が大きく違ってくるものと思われる。また冷凍後 4℃ 解凍試料の場合、加熱初期 1 分までの間に一時的に急激な温度上昇があり、5℃ 冷却試料とは異なる特異的な温度カーブを描いた点が興

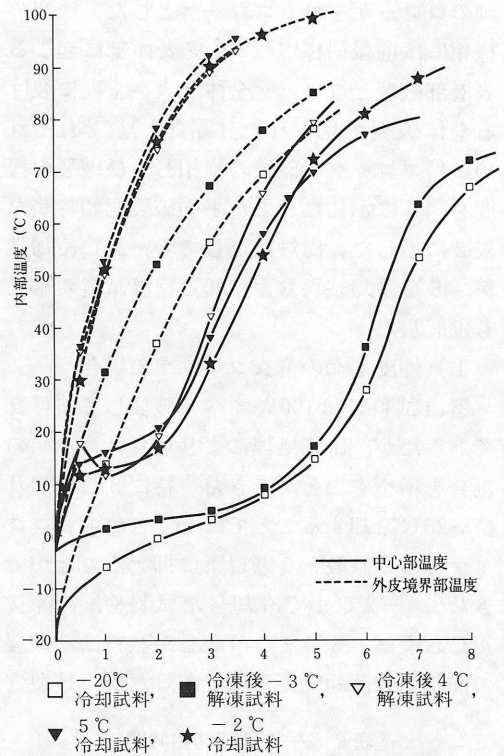


図 2 揚げ加熱中の内部温度履歴 (2 mm 衣)

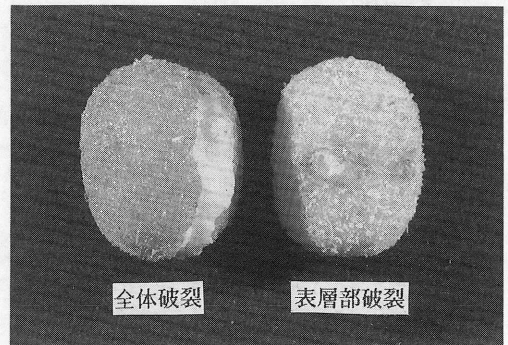


写真 1 破裂の様相

味深い現象であり今後検討したい事象である。

### 4. 破裂の様相, 程度および破裂開始時間

外皮に亀裂などの損傷がなく、内容物の流出がみられないものを最適なコロッケとし破裂穴の長径と短径の総和 (t cm) から破裂の

程度を評価した<sup>1)</sup>。破裂穴の小さい  $t < 0.5$  cmのコロッケを可食コロッケとした。破裂の様相には前報同様<sup>1)~3)</sup>、外皮表面部に起こる表層部破裂とコロッケ全体が大きく縦に裂ける全体破裂が見られた(写真1)。それぞれの試料コロッケの破裂の様相および破裂の程度を図3に示した。また平均破裂開始時間を表2に示した。尚対照としての $-20^{\circ}\text{C}$ 冷却試料、 $5^{\circ}\text{C}$ 冷却試料および $20^{\circ}\text{C}$ 室温試料の結果も併記した。

1) 外皮1 mmの薄衣コロッケの場合

室温試料では100%すべて破裂して非可食であったが、冷却処理により可食コロッケの割合を増やすことができた。特に $5^{\circ}\text{C}$ 冷却及び $-20^{\circ}\text{C}$ 冷却することでほとんどが可食コロッケとなり破裂を5%以下に抑えることができた<sup>3)</sup>。 $-2^{\circ}\text{C}$ まで冷却した試料や、冷凍後 $4^{\circ}\text{C}$ および $-3^{\circ}\text{C}$ まで解凍した試料は、破裂の抑制効果は約50%程度であったが、破裂穴

表2 平均破裂開始時間

コロッケ種類	外皮厚さ (mm)	破 裂 時 間 (分)	
		表層部破裂	全体破裂
$-20^{\circ}\text{C}$ 冷却試料	1	2' 05	
	2	1' 37	
	3	2' 37	4' 57
冷凍後 $-3^{\circ}\text{C}$ 解凍試料	1	1' 03	
	2	1' 07	
	3	1' 30	
冷凍後 $4^{\circ}\text{C}$ 解凍試料	1	1' 02	
	2	0' 54	2' 17
	3		2' 23
$-2^{\circ}\text{C}$ 冷却試料	1	1' 29	
	2	1' 05	2' 14
	3		3' 00
$5^{\circ}\text{C}$ 冷却試料	1	1' 31	
	2	2' 23	2' 16
	3		3' 08
$20^{\circ}\text{C}$ 試料	1	0' 47	
	2		1' 37
	3		2' 48

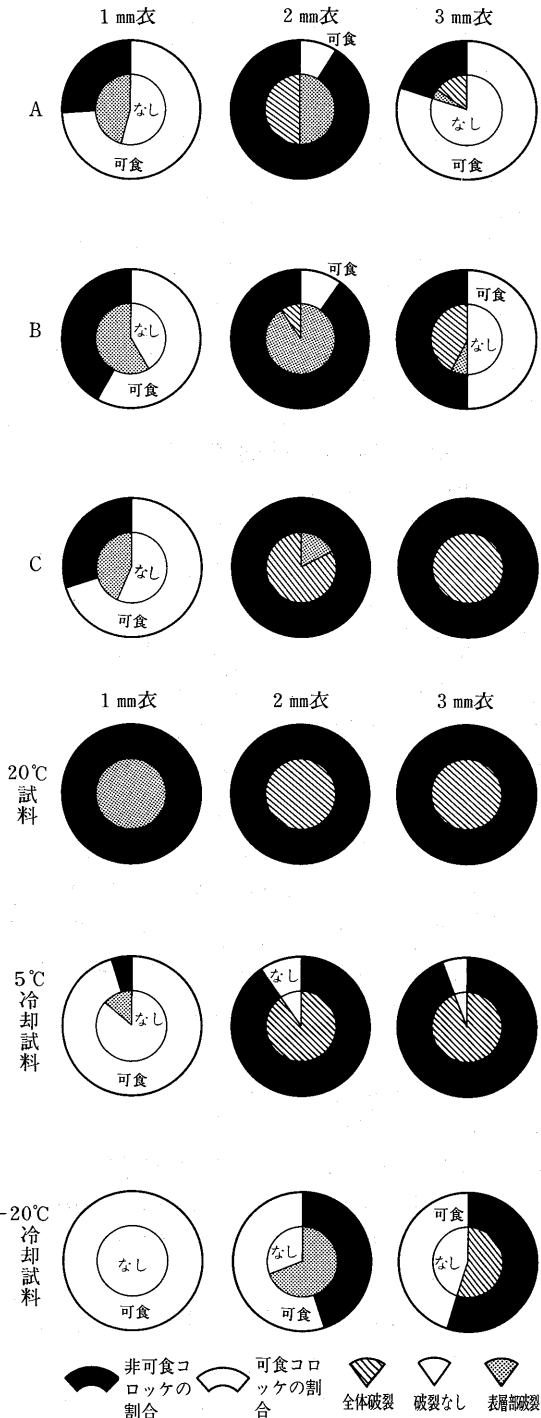


図3 コロッケの破裂の様相と程度  
A： $-20^{\circ}\text{C}$ 冷却試料 B： $-3^{\circ}\text{C}$ 解凍試料  
C： $-2^{\circ}\text{C}$ 冷却試料

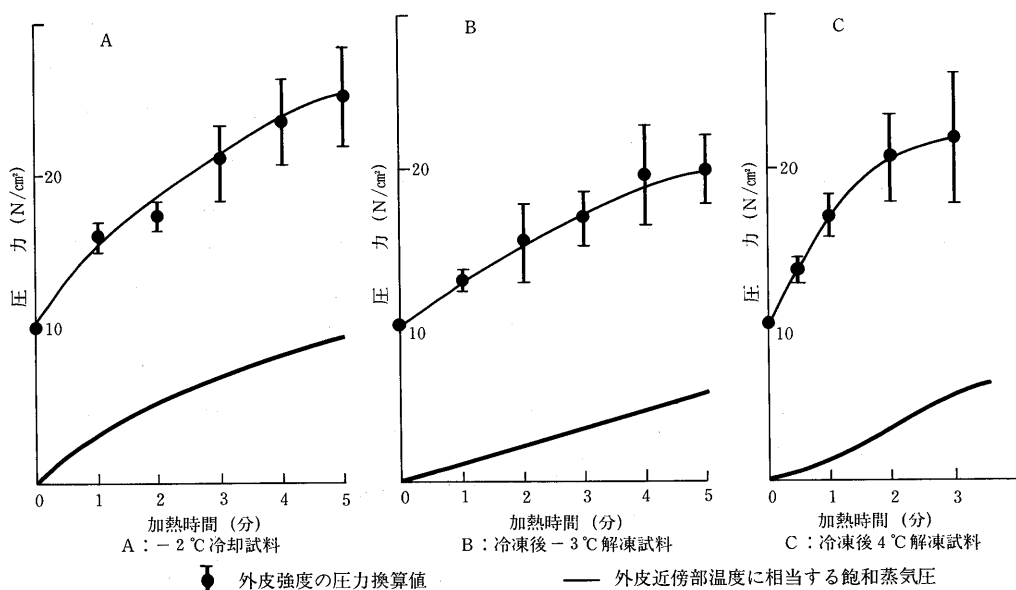


図4 外皮の圧力換算値と飽和蒸気圧の関係 (1 mm衣試料)

が小さい可食コロッケの割合は55~75%であった。これら外皮1 mmの薄衣コロッケの破裂は全て表層部破裂であり、破裂は全て加熱初期 (1~2分) に起きた (表2)。

室温コロッケにおける表層部破裂の機構は外皮強度の圧力換算値と外皮境界部の飽和蒸気圧との力関係において説明できた<sup>1)2)</sup>。つまり、外皮の破断強度を圧力に換算した値よりも外皮境界部の温度に相当する飽和蒸気圧の方が上回ったときに表層部破裂が起きた。

-20℃冷却試料および5℃冷却試料の破裂も同様の機構で説明出来た<sup>3)</sup>。つまり内容物の温度が低温であるために境界部の温度上昇も遅れ、皮を破る程の蒸気圧が高まらなかった為である。そこで同様に、-2℃冷却試料、冷凍後4℃解凍試料および冷凍後-3℃解凍試料についてもこの機構を検討してみた。前報同様<sup>1)3)</sup>、外皮近傍部温度から相当する飽和蒸気圧を求めた。一方外皮の強度は前報同様<sup>1)3)</sup>破断強度を測定して圧力に換算した (図4)。

その結果、いずれの試料も低温であるために加熱終了時でも境界部蒸気圧は低く破裂は起きない条件にあった。だが、現実には50%

程が破裂していたことはこの機構だけでは説明出来ず、パーシャルフリージングという氷温貯蔵法や、冷凍後長時間 (13~15時間) かけて解凍することによる内容物からの水分の移動および組織の不均一などが原因で、部分的に皮の強度の薄い部分で蒸気圧が高まり破裂が起きたと推定した。

## 2) 外皮2および3 mmの厚衣コロッケの場合

加熱前温度20℃の厚衣試料は加熱後期に、100%が全体破裂した。2 mm衣低温処理コロッケにおいては、冷凍試料に約50%程度の破裂抑制効果がみられた以外は殆ど20℃試料と変わらなかった。また冷凍処理を経た試料は皮が脆性で強度も弱くなっており<sup>4)</sup>、室温試料とは異なる破裂の機構が考えられた。室温コロッケの全体破裂は揚げ加熱中の内容物全体の熱膨張を外皮が支えきれなくなって起こるものであった<sup>2)</sup>。そこで、-2℃冷却試料、冷凍後4℃解凍試料および冷凍後-3℃解凍試料についても、前報同様<sup>3)</sup>コロッケ内容物平均温度 (外皮境界部温度と中心部温度の平均値  $x$  °C) から内容物膨張量  $y$  (%) を、{実

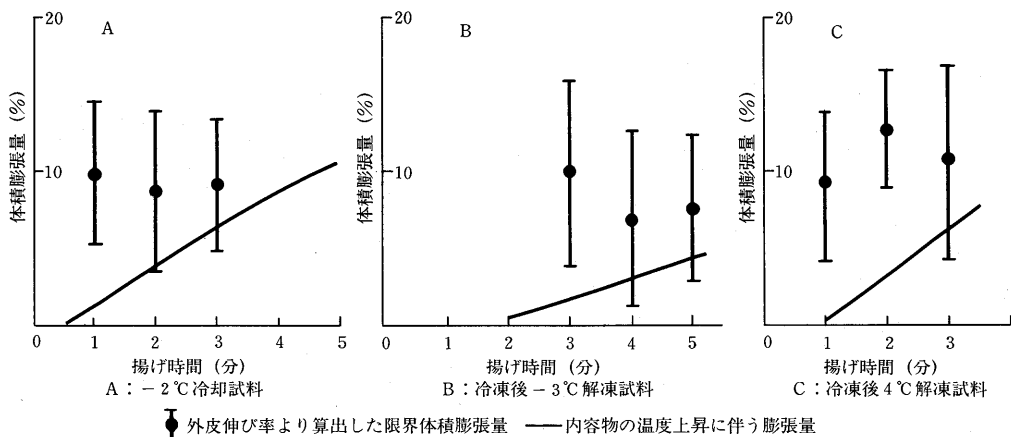


図5 外皮より推定した限界体積膨張量と内容物膨張量との関係 (3 mm衣試料)

験式  $y = -3.7 + 0.17x$  を用いて算出し、外皮伸び率 ( $\Delta l / l$ ) から推定した限界体積膨張量 (伸び率  $\times 3$ ) との関係から破裂の機構を検討した。

図5は揚げ時間に伴う内容物の膨張量と外皮の膨張量との関係をみたものである。20°C 試料における全体破裂は、外皮から推定した限界体積膨張量を内容物熱膨張量が上回った時に起きた<sup>2)</sup>が、今回の試料も、冷凍により皮の強度が変化したことや<sup>4)</sup>、パーシャルフリージングによる外皮強度の不均一性のため内容物の低い膨張量でも全体破裂が起きることが示唆された。

以上、-2°C 冷却試料や冷凍後解凍試料においては冷却処理中の外皮と内容物との水分移動も破裂に関与すると考えられるので水分含量測定結果 (図6) を検討した。対照として20°C、-20°Cおよび5°C 試料の測定結果も併記した。

冷凍処理により外皮の水分含量は表面からの蒸散で冷却前より減少していたが、その後の長時間の解凍時間中に内容物からの水分移動が起こり再び増加していた。ただし冷凍後-3°C 解凍試料では大きな変化が見られなかった。このような外皮の水分含量の違いが外皮の性質に影響しているように思われた。そ

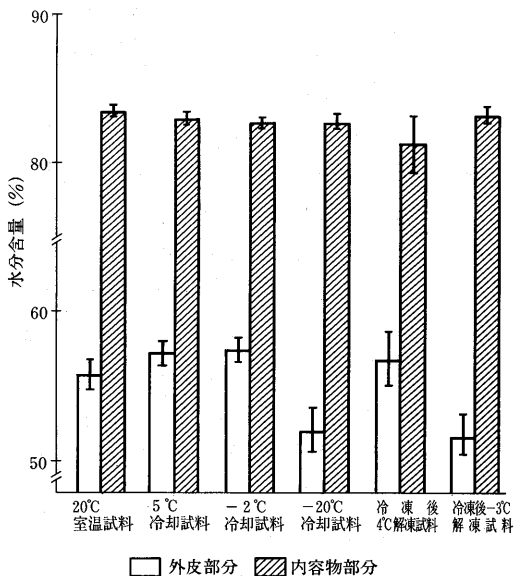


図6 各試料コロッケの水分含量 (2 mm衣試料)

こで2 mm衣試料の外皮の破断強度測定結果 (表3) から考察した。脆性の強い-20°C 冷却試料の強度は弱くなっているが、外皮水分含量の多くなっている5°C 冷却試料や冷凍後4°C 冷却試料および-2°C 冷却試料の強度は大きく、むしろ室温試料のそれに近いものであった。このことにより冷却中の外皮の水分減少は外皮の脆性を強める一要因になることが前報同様<sup>4)</sup>ここでも示唆された。

表3 外皮破断強度 (2mm衣試料) (N/cm<sup>2</sup>)

加熱時間(分) コロッケ種類	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
20℃ 試料	6.05 ±1.07	11.74 ±1.84	21.88 ±3.69	42.47 ±10.87		
5℃ 冷却試料	6.29 ±1.12	10.79 ±1.85	19.87 ±4.33	34.17 ±10.88		
-2℃ 冷却試料		11.96 ±2.03	19.44 ±3.23	28.63 ±9.88	45.04 ±7.97	
-20℃ 冷却試料		3.09 ±1.39	12.51 ±2.56	23.04 ±6.35	34.43 ±9.15	50.03 ±4.23
冷凍後 4℃ 解凍試料	5.50 ±1.06	9.18 ±1.88	20.40 ±3.95	43.40 ±7.85		
冷凍後 -3℃ 解凍試料		6.39 ±1.61	14.86 ±3.81	22.17 ±5.07	33.36 ±10.67	44.92 ±7.57

## IV 要 約

著者らはコロッケの内部温度を低くすることによる破裂の抑制効果を検討しているが<sup>3)4)</sup>、今回は特に冷却・解凍方法の違いによる破裂の程度をみるため、-2℃冷却試料と冷凍後-3℃解凍及び4℃解凍試料を取り上げた。

1 外皮1mmの薄衣試料においては破裂抑制効果の大きかった5℃冷却試料および-20℃冷却試料に比べて、-2℃冷却および冷凍後低温解凍のそれはやや劣り、可食コロッケの割合を55~75%とした。これらコロッケの破裂は加熱初期に起こる表層部破裂であった。

2 今回の薄衣冷却処理コロッケにおいても、前報同様<sup>3)</sup>内容物温度が低い為に外皮境界部温度が100℃以上にならず、その結果飽和蒸気圧が外皮強度の圧力換算値を上回ることがなく表層部破裂は起こりにくい条件にあった。

3 厚衣試料の加熱前温度を下げると、内容物の熱膨張量が小さくなり、全体破裂の割合は減少した。しかし、パーシャルフリージングという氷と水の混在している温度域では外皮強度のむらのため少ない膨張量でも破裂に至ると推定した。ゆえに、厚衣試料では-2℃冷却は不適當であると判断した。

4 厚衣試料においては、冷凍処理した状態で揚げるよりも、低温で解凍させた方が揚げ時間が短くなり、しかも内容物の膨張も少ないために全体破裂が抑制できると考えた。しかし、全体破裂にかわって加熱初期の表層部破裂が起きやすくなるので、この抑制方法を検討中である。

終りに、本研究に際し御指導頂いたお茶の水女子大学島田淳子教授、畑江敬子助教授並びに実験に協力して下さいました各務幾野、杉山智美両嬢に謝意を表します。

### 〈引用文献〉

- 1) 長尾慶子, 加藤由美子, 畑江敬子, 島田淳子, 家政誌, **39**, 677 (1988)
- 2) 長尾慶子, 畑江敬子, 島田淳子 家政誌, **40**, 373 (1989)
- 3) 長尾慶子, 畑江敬子, 島田淳子 家政誌投稿中  
日本家政学会第41回年次大会発表要旨集C81 (1989)
- 4) 長尾慶子, 杉山智美, 畑江敬子, 島田淳子 家政誌投稿中  
日本家政学会第42回年次大会発表要旨集C166 (1990)
- 5) 日本食品工業学会食品分析法編集委員会編, 食品分析法, 10 (1982)