

耐熱性ゲルを用いた常温流通向け軟化食品の適正容器検討

井上 竜一

A Container Suitable for Holding the Shape of Soft Foods at Ambient Temperature by Use of a Heat-Resistant Gel

Ryuichi Inoue

Shape-retaining soft foods are shipped frozen to prevent food collapse due to vibrational forces during transportation of the food under ambient temperatures. We have already proposed a new method in which a heat-resistant gel is used to attach these soft foods to their containers. However, the food still collapsed when exposed to multiple strong impact forces of 20G or more. The collapse was triggered by the separation of the gel from the plastic container due to vibrational forces. In this paper, we describe the method for preventing gel separation by improving the inner surface of the container.

An adhesion strength test was used to evaluate the effect of the improvement of the wettability and molding of small liner protrusions on the surface of the container. The improvement of the latter proved to be very effective. In the drop test of the model foods, the latticed liner protrusions were more effective than the liner one, and the effective intervals of protrusion ranging from 500 to 2000 μ m. Our results indicate that the container systems with latticed protrusions and container-gel adhesion strength of over 4N will prevent model food separation and collapse during transportation across 1000 km under ambient temperature.

Key words: care food, heat-resistant gel, retort, container food, soft food shape retention, adhesion strength, vibration, transportation test, impact acceleration, drop test, protrusion

I. 目的

外観はそのままで軟らかい介護食品（以後このような介護食品を軟化食品とする）は、振動によって形が崩れやすいため、冷凍状態で輸送されている。この軟化食品の常温流通化を検討した結果、耐熱性ゲルを用いて具材を固定する方法（耐熱性ゲル法）を考案した¹⁾。しかし、本方法を用いて製造した容器詰め軟化食品は約 1000 km（兵庫県川西市－神奈川県川崎市間の往復）の輸送中に半数以上で具材が崩壊した（図 1）。具材の崩壊は、集荷場における複数回の衝撃が原因であり、容器からのゲルの剥離が具材の崩壊のきっかけであった。本報告では容器表面の濡れ性向



図 1 耐熱性ゲル法を用いて製造した容器詰め軟化食品の輸送後の外観

左：製造直後

右：往復輸送後

上および凹凸の付与によるゲルの剥離抑制効果を調べ、実験送試験によって常温輸送の可否を確認した結果について報告する。

II. 実験材料および実験方法

1. 実験材料

1-1. 使用したプラスチックシート、容器および蓋材

プラスチックシートには、ラミコンシート（東罐興業製、層構成：PP / EVOH / PP, PP：ホモポリマー使用、表面コーティング無、シート厚 0.8 mm）を用いた。容器には、このシートを用いて成形された市販角浅型ラミコンカップ LS115-200T（東罐興業製：115 × 115 × 25 mm）および自作ラミコンカップを用いた。蓋材には酸化アルミ蒸着多層フィルム（12 μ m 蒸着 PET / 15 μ mNy / 50 μ mPP）を用いた。

自作容器は、LS115-200 T と同サイズでリブの無い形状で金型を作成し、フォーミング 300 X 型（成光産業製）で真空成形した。ヒーターは奥 2 つを 380 $^{\circ}$ C、中心を 360 $^{\circ}$ C、手前 2 つを 390 $^{\circ}$ C に設定し、加熱時間は 155 秒とした。

1-2. 軟化食品（筑前煮）製造用材料

具材は市販のゴボウ、レンコン、ニンジンに剥皮したもの

の、水煮タケノコ、鶏肉（ササミ）を用いた。酵素製剤は、ヘミセルラーゼ「アマノ」90（アマノエンザイム製）およびプロテアーゼM「アマノ」SD（アマノエンザイム製）を用いた。ゲルは、脱アシル化ジェランガム（製品名：ゲルメイトKA、大日本製薬製）および乳酸カルシウム（食品添加物グレード、キシダ化学製）を用いて製造した。

2. 実験方法

2-1. ゲルの剥離試験

接着剤の評価法²⁾を参考に測定条件を決定した。

測定には小型卓上試験器 Ez-Test（島津製作所製）を用いた。樹脂板に置いたφ 25 mm の型枠に0.54% 乳酸カルシウムを含む0.75% 脱アシル化ジェランガム水溶液を入れた後、図2のように治具を型枠内に沈めた。室温で20分間放置しゲル化させた後、速度60 mm/min で垂直方向に治具を引っ張った際の最大荷重をゲルの剥離に必要な力とした。

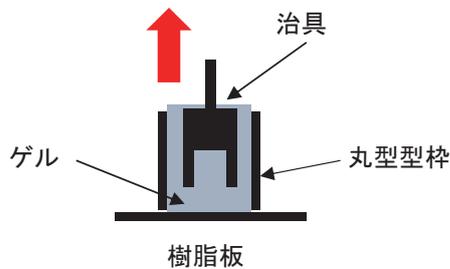


図2 ゲルの剥離に必要な力測定時の模式図

2-2. 接触角測定

接触角計（協和界面科学製）を用い、樹脂板に滴下した1 μl の水滴の接触角を $\theta/2$ 法で求めた。

2-3. むれ性向上処理

コロナ放電処理にはコロナ放電処理装置を用いた。コロナ放電部とサンプル台の間隔が約4.5 mm、電圧4 A の状態でコロナ放電させた後、サンプル台に貼り付けたラミコンシート（接触角100°）を180 cm/分の速度で放電部の下を通過させた。この処理を1～3回行い、接触角が1回目68.1°、2回目63.6°、3回目62.6°となったサンプルを得た。3回処理を行ったサンプルは、2回目と接触角に差が小さく、焦げが生じたため、2回目までのサンプルを試験に供した。

2-4. 表面粗さの測定

Surfcom2000SD3（東京精密製）を用い、測定長さ4 mm、測定速度0.3 mm/s、カットオフ波長0.8 mm、カットオフ比300の条件で樹脂板および容器の表面粗さを測定した。

2-5. 容器詰軟化食品（筑前煮）の調製

具材の軟化は、凍結含浸法を用いた³⁾。厚さ5 mm とな

るように、ゴボウは斜め切り、その他の野菜類は扇型にカットした。鶏肉は8 mm 角にカットした。水煮タケノコを除く具材はカット後100℃、5分間のブランチングを行った。常温まで戻した後、水煮タケノコを含め、各具材を-20℃で一晩冷凍した。

野菜類は等量の1%ヘミセルラーゼ「アマノ」90溶液に、鶏肉は等量の1%プロテアーゼM「アマノ」SD溶液に浸漬し、減圧処理を行った後、5℃で18時間反応し軟化させた。硬さはユニバーサルデザインフードの「舌でつぶせる」相当（ $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下）とした。ニンジン加熱殺菌によって「舌でつぶせる」相当まで軟化するため、酵素処理を行わなかった。

脱アシル化ジェランガム0.75%、乳酸カルシウム0.54%を含むゲル化剤溶液を調製し、ラミコンカップにはゲル化剤溶液12 ± 0.5 g 充填した。ゲルが固まった後にラミコンカップにニンジン、ゴボウを10 ± 1 g、タケノコ、レンコン、鶏肉を5 ± 1 g 充填した。流量10 L/min で窒素ガスフローをしながら、蓋材をヒートシールした。ヒートシール直後の酸素濃度は0.8 ± 0.1%であった（n=3）。容器詰筑前煮は、シミュレーターレトルト（東洋製罐製H130-C110）で殺菌した。殺菌方式は熱水シャワー等圧殺菌とし、殺菌プログラムはカムアップタイム30分間、殺菌温度121℃、カムダウンタイム15分間とし、殺菌を行った。品温測定には、温度測定器E-VALFLEX（エラブ製）に、φ1.2 mm の温度センサー（エラブ製）を接続したものをを用いた。容器の幾何学的中心に配置した鶏肉の中心温度を測定し9分間（ $F_0=7$ ）の殺菌を行った。殺菌後、オーバーキャップ（東罐興業製）を被せ、サンプルとした。

2-6. 落下試験

サンプル、ダミー、記録装置を入れた段ボールを用いた¹⁾。詳細を以下に記す。

サンプルと同じ容器に水を50 ml 充填したものをダミーとして用いた。記録装置として輸送環境記録計G-MENDR-20（新栄テストマシナリー製）を容器に固定し使用した。輸送環境記録計では、サンプリング周期0.01秒、記録間隔5秒で前後・左右・上下の3軸方向の加速度を測定した。ダミー、記録装置入り容器にも、オーバーキャップ（東罐興業製）をかぶせた。なお、輸送環境記録計はサンプル約2個、GPSはサンプル約1個分の重量であった。

1段3 × 2個、計7段のサンプルが入る360 × 250 × 210 mm の段ボール箱（日本トーカーパッケージ製：段ボールの厚み4 mm）の7段目にサンプルを、6段目に記録装置を配置し、その他はダミーを入れて計42個を詰めた。総重量は約3.1 kgであった。

実輸送試験時の衝撃と同様に水平方向と垂直方向の加速度が同程度となるよう条件を以下の通りとした。箱の長辺側面に1000 mm および950 mm の2本のビニールひもを掛け、衝撃加速度が25 G 程度となるよう、図3の通り箱底面中央部の高さを200 mm にセッティングした（箱

の傾きは約 15°, 実測値は約 26 G)。短辺側を正面とし、箱天面の横方向が水平であることを確認した後、箱が静止した状態でひもの中心をハサミで切断して箱を鉄板の上に落下させた。6 段目に環境記録計を、7 段目地面側にサンプルを設置し、高さと衝撃加速度が図 4 に示す関係にあることあらかじめ確認後、上記条件で落下試験を繰り返し、ゲルが剥離するまでの落下回数を調べた (n=4)。線状凹凸を付与した容器を用いた場合は、凹凸が箱の短辺と平行となるよう配置した。



図 3 落下試験風景

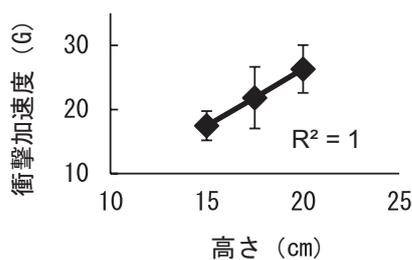


図 4 高さ と 衝撃加速度 の 関係
環境記録計は 6 段目に設置

2-7. 樹脂板およびプラスチックカップへの凹凸の転写法

フォトエッチング加工により、高さ 100 μm 、ピッチが 250 ~ 1000 μm の平行した線状および格子状の凹凸を持つ 1 mm 厚の正方形のステンレス板 (以下凹凸板, 75 × 75 mm) を作成した。

凹凸の転写には卓上型手動カップシーラーを用いた。220°C に加熱した熱板の下に治具に固定した凹凸板を設置し、熱板を接触させた状態で保持した。20 分後、熱板を離れた後、熱板側にテフロンシートを乗せた樹脂板もしくはプラスチックカップを入れて熱板と凹凸板で挟み込んだ。30 秒後、熱板を離れた後、冷却時の樹脂の変形を防ぐため、テフロンシートの上に平らな金属板を置いた。金属板を置いた状態で、凹凸板と治具、樹脂板 (もしくはプラスチックカップ) を流水冷却した。十分に冷却した後、凹凸板から樹脂板を剥がしてサンプルとした。Surfcom2000SD3 (東京精密製) を用い、測定長さ 4 mm、測定速度 0.3 mm/s、カットオフ波長 0.8 mm、カットオフ比 300 の条件で測定した凹凸の形状は図 5 の通りであっ

た。凹凸無品は、凹凸板表面を耐熱性アミドテープで被覆した後、同様の操作を行い作成した。

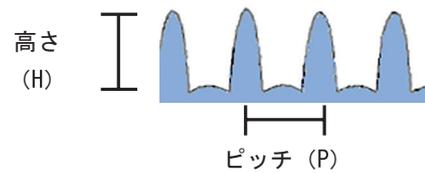


図 5 付与した凹凸の形状

2-8. 容器の局部圧縮強度測定

小型卓上試験器 Ez-Test および $\phi 15$ mm の円柱状プランジャーを用いて測定を行った。容器底面を上に向けた状態で、底面の曲面部を含む 1 辺の中央部分を、圧縮速度 60 mm/min (圧縮距離 5 mm) で圧縮し、得られた最大荷重を容器の局部圧縮強度とした。

2-9. 実輸送試験

2-6. に記載の通りに箱詰めした。ただし、実輸送試験では、サンプルを 7 段目 (最上段) に、輸送環境記録計は 4 段目に設置し、加えて容器に固定した GPS (ユービーアール製) を同梱した。箱には「取扱注意」ラベルを貼付けて試験に供した。

輸送には A 社の宅配サービスを利用し、当所 (兵庫県川西市) と神奈川県横浜市間を往復させた。輸送距離は往復約 1,000 km であった (図 6)。3 方向の加速度の合力を衝撃加速度とした。輸送によるゲルの剥離は、箱詰め前のゲルの位置からの移動の有無で判断した。



図 6 実輸送試験の輸送経路

Ⅲ. 結果と考察

1. ぬれ性の向上とゲルの剥離抑制効果

コロナ放電処理でぬれ性を向上させたラミコンシートを用い、ゲルの剥離強度を測定した結果、ぬれ性の向上によるゲルの剥離に必要な力の増加は僅かであった (図 7)。このことから、ぬれ性の向上のみで輸送中のゲルの剥離を抑制することは困難と判断した。

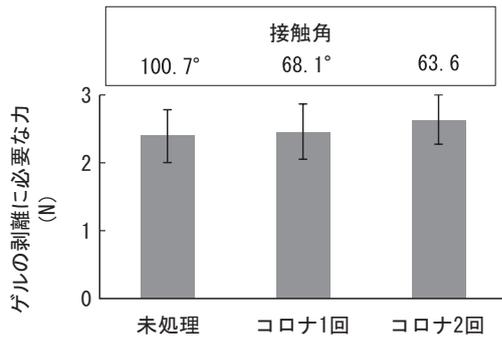


図7 ラミコンシート表面のぬれ性とゲルの剥離に必要な力の関係

2. 凹凸の付与によるゲルの剥離抑制効果

2-1. ゲルの剥離試験

ピッチが異なる凹凸を線状および格子状に配置したラミコンシートを用いゲルの剥離試験を行った。

凹凸を線状に配置した場合、凹凸無品に比べゲルの剥離に必要な力は増加した(図8)。しかし、ピッチ250~500 μm間で比較すると大きな差は見られず、1000 μmで大きく増加した。また、同じ凹凸であっても、線状に比べて格子状の凹凸の方がゲルの剥離に必要な力は大きくなった。凹凸の付与によるゲルの剥離に必要な力の増加は、微細な凹凸にゲルが入り込むことで接着力が高まる「アンカー効果」によるものと考えられる。

以上の結果から、凹凸の付与によってゲルの剥離強度は大きく増加することがわかった。

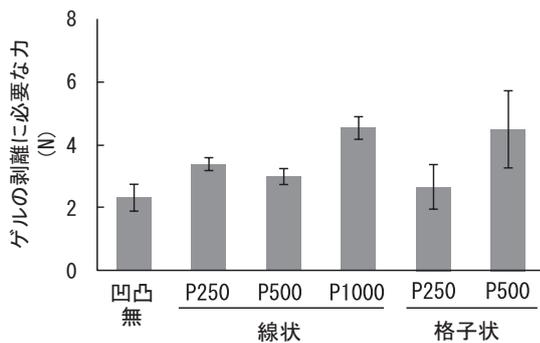


図8 ラミコンシート上の凹凸がゲルの剥離に必要な力に及ぼす影響

P: ピッチ (μm) 凹凸の高さ: 100 μm

2-2. 落下試験

2-2-1. 凹凸のサイズの影響

ゲルの剥離試験において凹凸の付与によるゲルの剥離抑制の可能性が示唆されたことから、実際の容器詰軟化食品を用い、落下試験でゲルの剥離抑制効果を評価した。容器としては、リブの無い自作ラミコンカップを用いた。

線状の凹凸ではピッチが250 μmでは凹凸無品と比べて

差は見られず、それ以上では500 μm, 1000 μmとピッチが広がるにつれてゲルが剥離するまでの落下回数は増加した(図9)。格子状凹凸では、ピッチが1000 μmでピークがある山なりの結果が得られた。

格子状凹凸を付与したものについて、ゲルが剥離するまでの落下回数とゲルの剥離に必要な力の関係を図10に示した。ピッチが500 μmと2000 μmではゲルが剥離するまでの落下回数は同じであることも踏まえ、ゲルの剥離に必要な力が4N以上、すなわちピッチが500 μmから2000 μmがゲルの剥離抑制に適した範囲であると考えられる。

アンカー効果では溝、突起などの単純形状の凹凸を持つものであれば通常表面積が大きくなるほど効果が高くなる。しかしながら、ピッチが広がるほど表面積は低下するにも関わらず、一定の広さがある方が効果的であった。原因は不明であるが、アンカー効果以外の要因も関係している可能性がある。

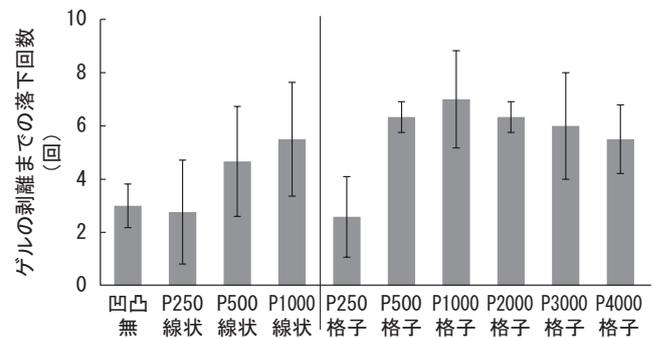


図9 落下試験における凹凸を付与した自作ラミコンカップのゲルの剥離抑制効果

P: ピッチ (μm) 凹凸の高さ: 100 μm

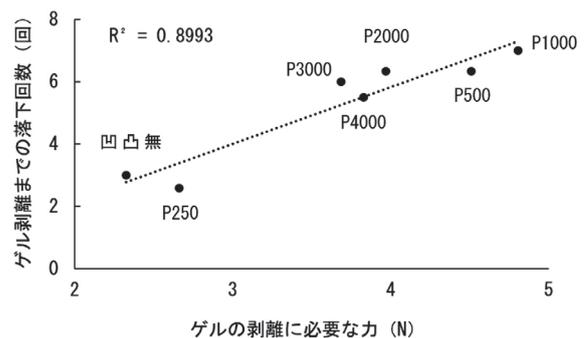


図10 自作ラミコンカップに付与した格子状の凹凸のピッチとゲル剥離までの落下回数の関係

P: ピッチ (μm)

2-2-2. 容器の局部圧縮強度の影響

使用する容器の違いとゲルの剥離の関係を調べるため、自作容器(リブ無)と市販容器(リブ有)におけるゲル剥離までの落下回数の違いを調べた。

市販容器のゲル剥離までの落下回数は自作品に比べ凹凸無品が約1.7倍、ピッチが500 μ mの格子状の凹凸を付与したものが約2倍であったことから、市販容器は自作容器に比べゲルが剥離し難いことがわかった(図11)。自作容器には強度を高めるためのリブが無いことから、両容器の局部圧縮強度を測定したところ、市販容器の強度は自作容器の約2倍であった(図12)。容器の局部圧縮強度が低い場合、衝撃による容器変形に起因したゲルの剥離が起りやすいためと考えられる。よって、耐熱性ゲル法を用いる際には、落下に対して変形が起りにくい容器を使用する必要がある。

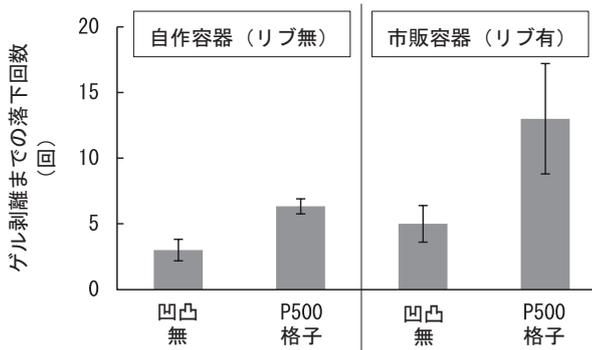


図11 リブの有無が落下試験におけるゲルの剥離抑制効果に及ぼす影響

P: ピッチ (μ m) 凹凸の高さ: 100 μ m

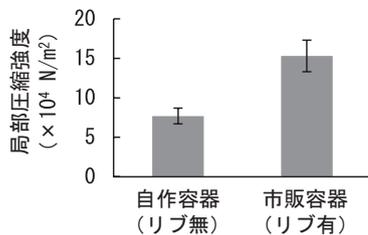


図12 リブの有無が容器の局部圧縮強度に及ぼす影響

3. 実輸送試験

落下試験で高いゲルの剥離抑制効果が高いピッチ500 μ mの格子状凹凸を付与した自作容器および市販容器詰の軟化食品を用いて試験を行った。輸送工程における積み替えは、集荷場a~dの4ヶ所で行われ(図13)、衝撃加速度15G以上の強い衝撃の平均回数は10.3回、その平均は26.5Gであった。

凹凸無品ではほぼ100%ゲルが剥離したのに対し、凹凸を付与することで自作容器は約60%まで減少し、市販容器ではゲルの剥離したサンプルは見られなかった(表1, 図14)。

実輸送試験およびゲルの剥離試験の結果から、輸送中の強い衝撃(衝撃加速度26G程度)が10回であれば、ゲルの剥離に必要な力が4N以上となる格子状の凹凸を付与することでゲルの剥離を防ぐ事ができると考えられる。

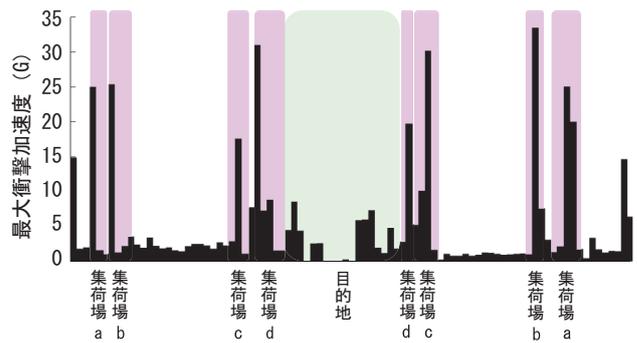


図13 輸送工程毎の最大衝撃加速度

表1 実輸送試験における凹凸を付与した容器のゲルの剥離抑制効果

	ゲルが剥離したサンプル数(個)	
	凹凸無	P500 格子
自作容器	17/18 (96%)	11/18 (62%)
市販容器	16/16 (100%)	0/18 (0%)



図14 耐熱性ゲル法を用いて製造した軟化食品の実輸送試験後の外観

IV. まとめ

耐熱性ゲル法で製造した軟化食品の実輸送試験において、半数以上のサンプルでゲルの剥離をきっかけとした具材の崩壊が見られたことから、容器表面の濡れ性向上および凹凸の付与によるゲルの剥離抑制を検討した。

容器への凹凸付与によってゲルの剥離に必要な力およびゲルの剥離までの落下回数は増加した。この要因として、アンカー効果が考えられた。ゲルの剥離に必要な力が4N以上、すなわちピッチが500~2000 μ mの範囲がゲルの剥離抑制に適していると考えられた。また、凹凸を付与する容器は、強度が強く、変形が起りにくいほどゲルが剥離し難い結果となった。

ピッチ500 μ m、高さ100 μ mの格子状の凹凸を付与した市販ラミコンカップ詰軟化食品を約1000km(兵庫県-神奈川県)の輸送試験に供した結果、全サンプルでゲルの剥離および具材の崩壊は見られなかった。輸送における26G以上の強い衝撃の回数が10回であれば、ゲルの

剥離に必要な力が4N以上となる凹凸を付与することで、輸送中のゲルの剥離を抑制出来ると考えられた。

ぬれ性の向上によるゲルの剥離に必要な力の増加は僅かであり、4N以上とすることは困難と考えられたため、ゲルの剥離抑制には不適であると判断した。

以上の結果から、容器に格子状の凹凸を付与することで、輸送における耐熱性ゲル法で製造した軟化食品の具材の崩壊を防ぐことができることが示唆された。

今回、実際の容器製造における凹凸付与の容易さから判断し、単純な線状および格子状の凹凸としたが、複雑な凹凸を付与することでさらにアンカー効果を高めることができると考えられる。容器メーカーが、より効果的で簡便に付与できる凹凸を持つ容器を開発することを期待する。

参考文献

- 1) 井上竜一, 稲葉正一, 東洋食品研究所 研究報告書, 31, 67-75 (2016)
- 2) JISK6850 接着剤 - 剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法
- 3) 坂本宏司ら: 特開 2003-284522