

凍結含浸法による形状保持軟化食品素材の力学特性

中津沙弥香

Mechanical properties of softened foodstuffs prepared using a freeze-thaw impregnation of macerating enzymes

Sayaka Nakatsu

Mechanical properties of 16 kinds' softened foodstuffs retaining the original shapes, which were prepared by seasonings "VgTORON 2" and "MeTORON 1" for freeze-thaw impregnation, were analyzed. Their firmness, adhesiveness, balance degree which was calculated as the ratio of adhesiveness to firmness, and cohesiveness were evaluated by texture profiling analysis (TPA). Their fibrous and left-feeling textures were evaluated by the rate of residual weight on the nylon mesh with 1 mm aperture. The firmness of four softened vegetable foodstuffs was equal to or smaller than that of silken tofu. It was suggested that the higher contents of moisture and fat in softened foodstuffs, which had same firmness values, reduced the adhesiveness. It was also suggested that more softened foodstuffs increased the balance degree. The cohesiveness was smaller than that of silken tofu except for softened shiitake mushroom. The softened foodstuffs with smaller firmness showed the smaller rate of residual weight. In the softened animal foodstuffs, the meat showed a tendency to be the smaller rate of residual weight than the fish. The seed coat of soybean was degraded by the macerating enzymes and the result decreased the rate of residual weight.

Keywords: Freeze-thaw impregnation, softened foodstuff retaining their original shape, mechanical properties

キーワード：凍結含浸法，形状保持軟化食品素材，力学特性

日本は急速に高齢化しており，2013年には65歳以上の高齢者人口は25%以上となり¹⁾，40年後には2.5人に一人が高齢者になると予測されている。このような社会的背景から，介護食品の研究が盛んになってきている。介護食品は，今後の拡大と発展が期待されている数少ない成長市場であり，食品製造業者の商品開発のターゲットとして重要であると同時に，消費構造の変化に対応した価値やサービスの向上と変革が求められている。

凍結含浸法は，2002年に広島県立食品工業技術センターで開発され，2005年に特許化された食品製造のための物質導入技術である²⁾。本法は，食品素材の凍結・解凍によって素材組織を弛緩させることで，減圧工程で素材組織の細胞間隙を膨張させ，導入物質の含浸効率を高める製法である³⁾⁴⁾。本法により，食品素材に軟化酵素を減圧含浸処理した後，酵素溶液から取り出して酵素反応させると，外観を保ったまま中心部の組織も表層と同程度に軟化させることができる⁵⁾⁶⁾。この研究成果を基に，まずは厚さ1cmの食品素材から成る介護食品製造のための技術開発に取り組んだ⁷⁾⁹⁾。

本法により製造される介護食品は，常食とほとんど変わ

らない外観・形状を有しながら，口腔内で容易に潰れる食感を有するものである。そのため，本法による介護食品がどのような物性であり¹⁰⁾，喫食者によってどのように口腔処理や嚥下処理されるのか¹¹⁾¹²⁾，どのような有用性や優位性があるのか⁹⁾¹³⁾を検証する必要がある。本法によって，植物素材，動物素材，菌糸類といった多様な食品素材の形状を残したままの軟化が可能となった（以後，これらの素材を形状保持軟化食品素材と記載）。これまでの研究から，これら形状保持軟化食品素材の物性は，素材によって大きく異なり，それらを喫食するために必要な口腔処理や嚥下処理がそれぞれに異なる可能性が示唆されるようになった。そのため，これらを介護食品として使用するには，「硬さ」以外にも「付着性」，「纏まり易さ」，「繊維感」といった物性を評価する必要性が出てきた¹⁰⁾¹²⁾。

本報では，多様な種類の形状保持軟化食品素材の力学特性を解析した結果と食感についての考察を報告する。本報告で使用される形状保持軟化食品素材の作製には，凍結含浸専用調味料「TORON（とろん）」を用いた¹⁴⁾。本調味料には，植物素材の軟化に用いるVgTORON（ベジとろん）と，動物素材および菌糸類の軟化に用いるMeTORON（ミ

一とろん)の2種類がある。これらは、給配食業者や病院・介護施設の厨房において、形状保持軟化食品素材を加工・調理するための酵素配合の調味料であり、凍結含浸技術の実用化事例の一つである。

実験方法

1. 試料調整

16種類の食品素材、ゴボウ、ニンジン、タケノコ、レンコン、サトイモ、ブロッコリー、インゲン、タクアン、大豆、鶏胸肉、豚ヒレ肉、牛モモ肉、塩トラウトサーモン、マダラ、カラスカレイ、シイタケを実験材料として使用した。

ゴボウは、青森県産の生鮮品を使用した。剥皮後、繊維方向に対して垂直に厚さ1cmの輪切りにカットした後、10分間煮沸処理した。ニンジン、北海道産の生鮮品を使用した。剥皮後、繊維方向に対して垂直に厚さ1cmの輪切りにカットした後、100℃で10分間スチームコンベクションオープン(TSCO-2EB, タニコ(株)製)で蒸煮処理した。タケノコは、熊本県産水煮タケノコ(株清家食品製)を使用し、円錐形の接線に沿って厚さ1cmの輪切りにし、それを1辺2~3cmの台形にカットした。レンコンは、中国産水煮レンコン(株清家食品製)を使用し、繊維方向に対して垂直に厚さ1cmの半月切りにカットした。サトイモは、中国産の冷凍品(イオン(株)製)を使用し、解凍して半球にカットした後、120℃で10分間スチームコンベクションオープン(TSCO-2EB, タニコ(株)製)で蒸煮処理した。ブロッコリーは、福岡県産の生鮮品を使用した。花蕾から3~4cmの軸をカットした後、5分間煮沸処理した。インゲンは、中国産の冷凍品(イオン(株)製)を使用し、解凍して4cmにカットした後、3分間煮沸処理した。タクアンは、国産ダイコンを使用した商品(イオン(株)製)を使用し、繊維方向に対して垂直に厚さ1cmの輪切りにカットした。大豆は、北海道産の水煮(株サンフーズ製)を使用し、10分間煮沸処理した。鶏胸肉は、生の国産ブロックを使用し、筋繊維に対して垂直に厚さ1cmにカットした。豚ヒレ肉は、国産ブロックを使用し、筋繊維に対して垂直に厚さ1cmにカットした。牛モモ肉は、オーストラリア産のブロックを使用し、筋繊維に対して垂直に厚さ1cmにカットした。これら12種類の試料を-20℃の冷凍冷蔵庫(CT-3213, 日本フリーザー(株)製)で凍結した。

塩トラウトサーモンは、チリ産のフィレを使用し、筋繊維に対して垂直に厚さ1cmにカットした。マダラ及びカラスカレイは、60gにカットされたロシア産の冷凍切り身を使用した。

シイタケは、長野県産の生鮮品を使用し、軸を除去した傘を1/4の銀杏切りにした。

上記16種類の食品素材について、酵素処理せずに同じ加熱条件で処理したものを比較対照素材とした。また、1cm厚にカットした絹ごし豆腐(イオン(株)製)も比較対照食品として用いた。

2. 含浸溶液

試料の軟化には、凍結含浸専用調味料「VgTORON 2」(有クリスターコーポレーション製)及び「MeTORON 1」(有クリスターコーポレーション製)を用いた。ゴボウには10%(w/w)「VgTORON 2」、ニンジンには5%(w/w)「VgTORON 2」及び0.4%(w/w)炭酸水素ナトリウム(つげもと(株)製)、タケノコには10%(w/w)「VgTORON 2」、レンコンには10%(w/w)「VgTORON 2」、サトイモには5%(w/w)「VgTORON 2」、ブロッコリーには3%(w/w)「VgTORON 2」及び0.6%(w/w)炭酸水素ナトリウム、インゲンには10%(w/w)「VgTORON 2」及び1.0%(w/w)炭酸水素ナトリウム、タクアンには10%(w/w)「VgTORON 2」、大豆には10%(w/w)「VgTORON 2」、鶏胸肉には1%(w/w)「MeTORON 1」、豚ヒレ肉には1%(w/w)「MeTORON 1」、牛モモ肉には1%(w/w)「MeTORON 1」、塩トラウトサーモンには3%(w/w)「MeTORON 1」、マダラには1%(w/w)「MeTORON 1」、カラスカレイには1%(w/w)「MeTORON 1」、シイタケには10%(w/w)「MeTORON 1」を使用し、精製水に溶解させて含浸溶液を作製した。

3. 酵素含浸及び酵素反応

凍結後解凍したゴボウ、ニンジン、タケノコ、レンコン、サトイモ、ブロッコリー、インゲン、タクアン、大豆及び凍結処理していない生シイタケを、所定量の含浸溶液とともにそれぞれ軟質フィルムパウチに入れ、卓上型真空包装機(V-380G, 東静電気(株)製)で真空度95%に到達させてからその減圧状態を5分間保持した後、脱気包装を行った。試料重量に対する含浸溶液の重量は、ゴボウ、ニンジン、タケノコ、レンコン、サトイモでは5:1、インゲン、タクアンでは5:2、ブロッコリー、大豆では5:3、シイタケでは1:2とした。脱気包装後、4℃、16時間静置して酵素反応を行った。酵素反応後、スチームコンベクションオープン(TSCO-2EB, タニコ(株)製)を用いて100℃、10分間加熱して酵素失活させた。

解凍した鶏胸肉、豚ヒレ肉、牛モモ肉、塩銀サケ、マダラ及びカラスカレイを含浸溶液に浸漬させ、浸漬状態のまま卓上型真空包装機(V-380G, 東静電気(株)製)で真空度95%に到達させてからその減圧状態を5分間保持した後、常圧に復帰した。その後、含浸溶液から取り出した素材を4℃、16時間静置して酵素反応を行った。酵素反応後、スチームコンベクションオープン(TSCO-2EB, タニコ(株)製)を用いて90℃、10分間加熱して酵素失活させ、形状保持軟化食品素材を作製した。

4. 2バイトテクスチャー試験

試料の力学特性は、クリープメーター (RE-33005B, 株式会社山電製) を用いて 2 バイトテクスチャー試験 (Two-bite texture profile analysis: TPA) により解析した。測定には、20 °C の環境下に 1 時間以上静置した試料を用いた。ロードセルに固定された直径 3 mm の円柱型プランジャーによって、10 mm/s の移動速度でステージに乗せられた試料の厚さの 95 % まで貫入させる動作を 2 回繰り返して、歪率に対する応力値のデータを得た¹⁵⁾。なお、1 回目の圧縮後の戻り距離を試料の厚さに 5 mm 足した距離とした。得られたデータから、1 回目の圧縮に要した仕事量である $A1[J/m^3]$ を硬さ、1 回目の圧縮後に試料からプランジャーを引き離すために要した仕事量である $A3[J/m^3]$ を付着性、 $A1[J/m^3]$ に対する $A3[J/m^3]$ の面積比である $A3/A1$ の値をバランス度¹⁶⁾、 $A1[J/m^3]$ に対する 2 回目の圧縮に要した仕事量である $A2[J/m^3]$ の面積比である $A2/A1$ の値を凝集性として、硬さ、付着性、バランス度、凝集性の値を算出した (図 1)。

5. 残渣率

形状保持軟化食品素材の繊維感や残留感を、目開き 1 mm のナイロンメッシュ (NRS-10H, 株式会社NRK 製) を用いて評価した。約 5 g の秤量した試料をナイロンメッシュの上におき、ゴム製のスパチュラで潰した後、潰れた試料が付着しているナイロンメッシュの上から水を流し、網目から落ちる試料を洗い流した。このナイロンメッシュを 20 °C、15 分間ペーパータオルの上で静置した後、重量測定し、予め測定しておいた恒量を差し引いた値を残渣物重量とした。この重量を最初に秤量した試料重量の百分率で表した値を残渣率とした。

6. 含水率

試料の含水率は、乾燥助剤である海砂を用いて常圧乾燥法により測定した。約 10 g の秤量した海砂とガラス棒をアルミカップに入れて 105 °C で 1 時間、恒温器 (MOV-212S, サンヨー電機株式会社製) 内で乾燥させた後、45 分間デシケーターに入れて冷却し、恒量 (W_0) を測定した。その後、約 3 g の秤量した試料をアルミカップに入れて重量 (W_1) を測定し、ガラス棒により海砂と混合後、105 °C で 5 時間、恒温器内で乾燥させた後、45

分間デシケーターに入れて冷却し、重量 (W_2) を測定した。 $1 - (W_2 - W_0) / (W_1 - W_0)$ の百分率で表した値を含水率とした。

7. 脂質含有率

試料の脂質含有率は、ソックスレー抽出法により測定した。予め、脂肪瓶を 105 °C で 1 時間、恒温器 (MOV-212S, サンヨー電機株式会社製) 内で乾燥させた後、45 分間デシケーターに入れて冷却して恒量 (W_0) を測定した。その後、約 3 g の秤量した試料 (W_1) を円筒ろ紙 (アドバンテック株式会社製) に入れ、凍結乾燥 (FDU-830, EYELA 東京理化機器株式会社製) により脱水後、ソックスレー抽出法により 16 時間脂質抽出を行い、完全にジエチルエーテルを除去した後の脂肪瓶の重量 (W_2) を測定した。 $(W_2 - W_0) / W_1$ の百分率で表した値を脂質含有率とした。

8. 統計解析

形状保持軟化食品素材の硬さ、付着性、バランス度及び凝集性の値は、Welch の t 検定により、絹ごし豆腐の各物性値との有意差を検定した。また、目開き 1 mm のナイロンメッシュ上の大豆残渣率については、Welch の t 検定により、酵素処理せずに同じ条件で加熱処理した対照大豆の残渣率との有意差を検定した。

実験結果および考察

1. 形状保持軟化食品素材と対照素材の硬さの比較

形状保持軟化食品素材と、酵素処理せずに同じ加熱処理条件の対照素材の硬さの値を表 1 に示す。形状保持軟化食品素材のゴボウ、レンコン、タクアン、豚ヒレ肉、牛モモ肉の 5 種類については、対照素材の 1/20~1/10 の値となり、特に軟化効果の高い素材であるといえた。ニンジン、タケノコ、サトイモ、ブロッコリー、インゲン、鶏ムネ肉、マダラ、シイタケの 8 種類については、対照素材の 1/10~1/5 の値となった。緑色野菜であるブロッコリーとインゲンは、軟化しても緑色が保持された。この要因として、加熱ではなく、主に酵素により軟化処理されたことで、クロロフィルの分解が少なく済んだ

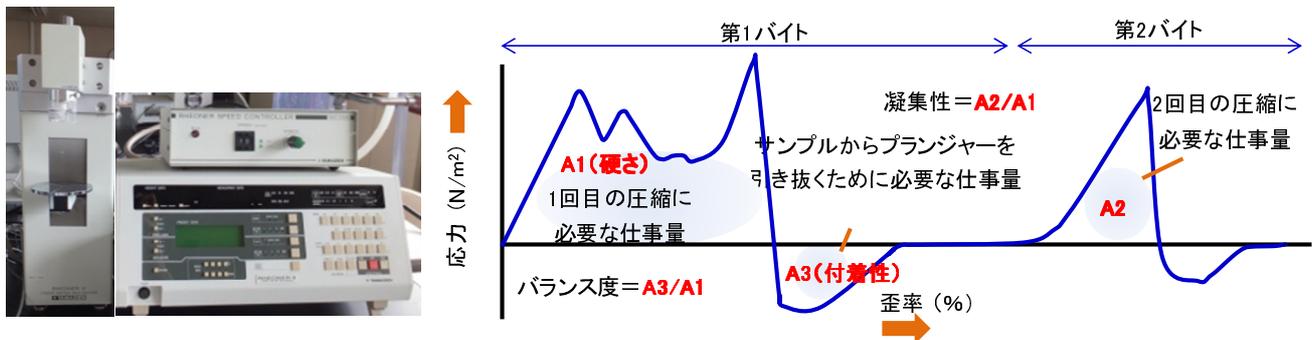


図 1 測定に使用したクリープメーター(左)と 2 バイトテクスチャー試験による物性解析(右)

測定条件 プランジャー：直径 3 mm 円柱型、圧縮率：95 %、圧縮速度 10 mm/s、もどり距離：5 mm

ことが考えられた。またタケノコ、レンコン、シイタケといった食品素材は、一般的に加熱や圧力処理で軟化し難い素材であるが、これらの素材を十分に軟化できることも新しい介護食品の開発に貢献できると考えられた。その他の形状保持軟化食品素材のうち、大豆では対照素材の約 2/3、塩トラウトサーモンでは約 1/3、カラスガレイでは約 1/2 の値となった。これら 3 種類の食品素材は、他の素材に比べて原材料そのものが軟らかかったため、対照素材との硬さの差が小さかったが、そのテクスチャーは、噛み易く、纏まり易かったことから、介護食品として利用可能なものであると考えられた。

2. 形状保持軟化食品素材の力学特性

形状保持軟化食品素材の硬さを図 2 に、付着性を図 3 に、バランス度を図 4 に、凝集性を図 5 に示す。これらの物性を考察するための比較対照食品として、日常喫食する機会が多い軟らかい食品である絹ごし豆腐を用いた。

硬さの値では、16 種類の形状保持軟化食品素材のうち、ニンジン、サトイモ、ブロッコリー、タクアンの 4 種類が絹ごし豆腐以下となった。これらは、絹ごし豆腐を潰す程

度の力を用いて口腔内で潰すことが可能であると考えられた。これまでの研究でも、動物性の形状保持軟化食品素材に比べて植物性の形状保持軟化食品素材の方が硬さの値が小さくなり易かった¹⁰⁾。今回の結果もそれと同様の傾向で

表 1 形状保持軟化食品素材及び対照素材の硬さ : A1

No	素材名	形状保持軟化処理		対照	
		($\times 10^3 \text{ J/m}^3$)		($\times 10^3 \text{ J/m}^3$)	
1	ゴボウ	38.3	± 7.9	509.8	± 147.2
2	ニンジン	7.6	± 1.3	62.2	± 24.3
3	タケノコ	53.8	± 15.1	552.0	± 169.0
4	レンコン	21.0	± 7.1	514.2	± 82.9
5	サトイモ	12.3	± 8.6	106.9	± 35.7
6	ブロッコリー	15.7	± 9.8	109.0	± 26.2
7	インゲン	46.0	± 10.7	340.9	± 50.3
8	タクアン	19.3	± 10.2	466.5	± 114.9
9	大豆	107.6	± 33.8	178.2	± 34.1
10	鶏ムネ肉	100.9	± 30.6	647.5	± 98.7
11	豚ヒレ肉	24.2	± 8.1	559.5	± 77.0
12	牛モモ肉	155.5	± 12.9	1728.6	± 205.8
13	塩銀サケ	49.8	± 21.6	153.8	± 45.6
14	マダラ	44.5	± 20.1	299.7	± 53.9
15	カラスガレイ	34.8	± 14.7	72.7	± 30.3
16	シイタケ	32.7	± 10.0	198.8	± 27.2

平均値 ± 標準偏差 (n=10)

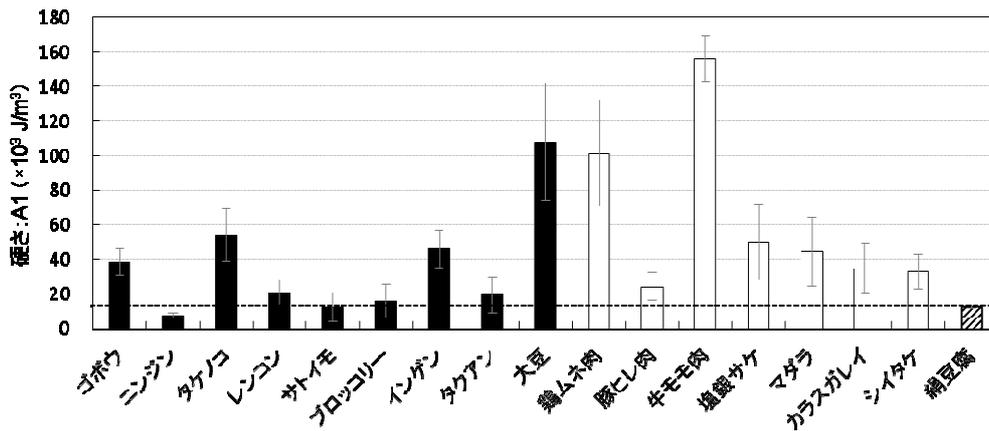


図 2 形状保持軟化食品素材の力学特性 (硬さ : A1)

平均値 ± 標準偏差 (n = 10)

■ : 「VgTORON 2」で処理 □ : 「MeTORON 1」で処理

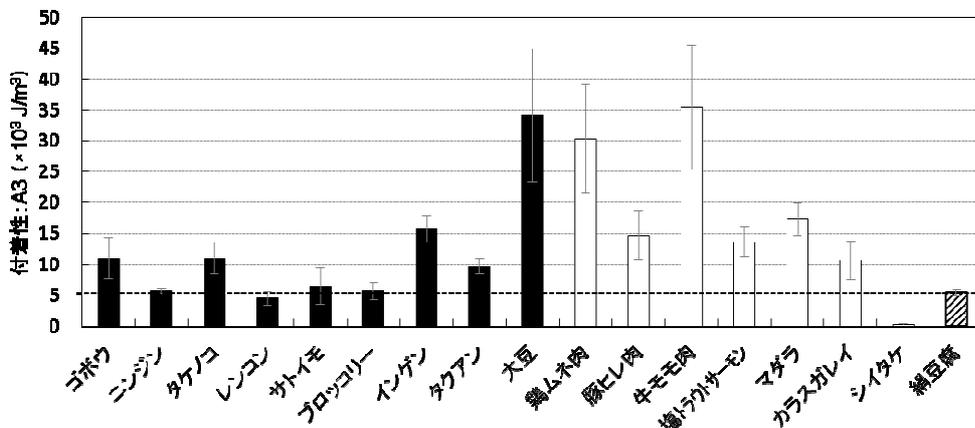


図 3 形状保持軟化食品素材の力学特性 (付着性 : A3)

平均値 ± 標準偏差 (n = 10)

■ : 「VgTORON 2」で処理 □ : 「MeTORON 1」で処理

あった。動物性の形状保持軟化食品素材の中では豚ヒレ肉の硬さの値がもっとも小さかった。豚ヒレ肉は、他の動物性食品素材に比べて直線的な筋繊維で構成されていたため、試料調製においてより垂直に筋繊維を切断され易かったと考えられ、このことによって切断面から酵素が含浸され易くなり、軟化し易かったと考えられた。

付着性の値では、ニンジン、レンコン、サトイモ、ブロッコリーの4種類において絹ごし豆腐と有意差がなく、動物性の形状保持軟化食品素材ではいずれも絹ごし豆腐より高い値であった。これまでの研究でも、植物性の形状保持軟化食品素材に比べて動物性の形状保持軟化食品素材の方が付着性の値が大きくなり易かった¹⁰⁾。今回の結果もそれと同様の傾向であった。シイタケは、破断せずにプランジャーにより圧縮され、試料の弾力によりプランジャーが押し返される様子が観察され、このような力学特性から付着性の値が極端に小さくなったと考えられた。

本研究で実施した2バイトテクスチャー試験による力学特性の測定方法では、硬さの値が大きいのほど圧縮後に試料からプランジャーを引き離すために多くの仕事量を要

する傾向が認められ、付着性の値が大きくなり易かった。そのため、硬さの異なる試料間でのべたつき感を比較するために、硬さと付着性の値の比であるバランス度を用いた¹⁶⁾。バランス度の値では、サトイモ、ブロッコリー、タクアン、マダラの4種類が絹ごし豆腐と有意差がなかった。これら4種類の形状保持軟化食品素材は、口腔処理や嚥下処理において、絹ごし豆腐と同程度のべたつき感を有すると考えられた。ニンジンは、絹ごし豆腐よりも硬さの値が小さかったために付着性の値が相対的に大きくなり、そのバランス度は測定試料の中で一番大きな値となった。実際にこのニンジンを喫食すると、滑らかなピューレ様であると感じられ、べたつき易いと感じる食感ではなかった。次いでバランス度が高かったのは豚ヒレ肉であり、この豚ヒレ肉を喫食すると、滑らかなマッシュ様であると感じられた。レンコンのバランス度は、ニンジン¹⁰⁾の1/3以下であったが、これらの付着性の値は同等であった。このレンコンを喫食すると、口腔内での圧縮処理においてニンジンに比べてもろさを感じ、口腔内で纏めるための仕事を要するよう¹⁰⁾と感じられた。

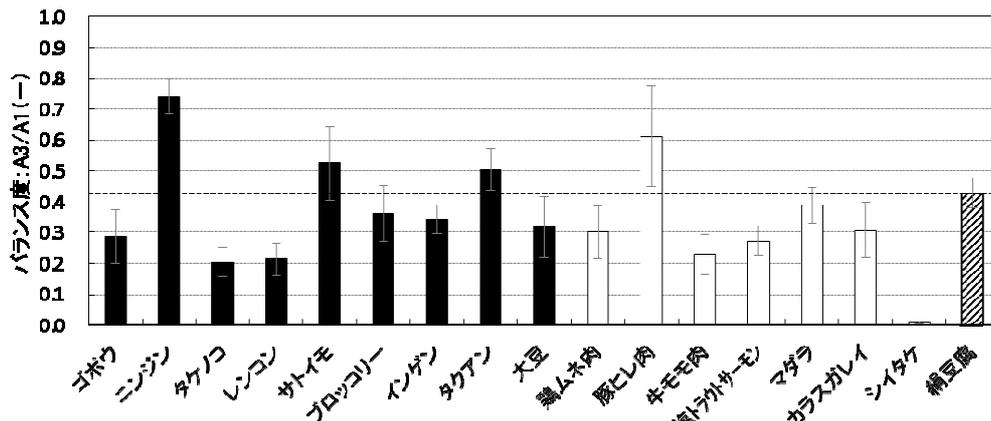


図4 形状保持軟化食品素材の力学特性 (バランス度: A3/A1)

平均値±標準偏差 (n=10)

■: 「VgTORON 2」で処理 □: 「MeTORON 1」で処理

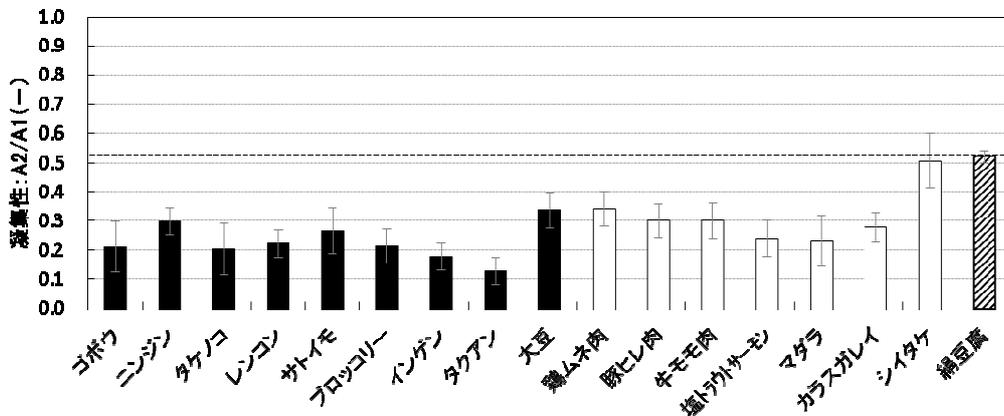


図5 形状保持軟化食品素材の力学特性 (凝集性: A2/A1)

平均値±標準偏差 (n=10)

■: 「VgTORON 2」で処理 □: 「MeTORON 1」で処理

凝集性の値で、絹ごし豆腐と有意差がなかったのはシイタケのみで、その他の形状保持軟化食品素材ではそれよりも値が小さかった。このシイタケを喫食すると、少し弾力のあるゲル様であると感じられ、口腔内や咽頭において纏まり易い感じられた。このシイタケの食感、他の形状保持軟化食品素材に認められないものであり、その力学特性値からも、本シイタケが潰れ難いが変形し易く、纏まり易いと推察されると考えられた。

3. 動物性の形状保持軟化食品素材の付着性

動物性の形状保持軟化食品素材は、べたつき感が強いと指摘される場合がある。表2は、硬さの値が同等である豚ヒレ肉とレンコン、及び塩トラウトサーモンとマダラの含水率、脂質含有率、及びべたつき感の指標として用いられる付着性の値を示したものである。レンコンは、豚ヒレ肉に比べて10%程度含水率が高く、この水分が多いことによって、豚ヒレ肉の1/3程度の付着性の値に

表2 形状保持軟化食品素材の硬さ、含水率、脂質含有率及び付着性

	硬さ: A1 ($\times 10^3 \text{ J/m}^3$)	含水率 (%)(w/w)	脂質含有率 (%)(w/w)	付着性: A3 ($\times 10^3 \text{ J/m}^3$)
豚ヒレ肉	24.2	73.7	1.6	14.8
レンコン	21.0	83.1	0.1	4.5
塩トラウトサーモン	49.8	67.2	11.5	13.6
マダラ	44.5	78.0	0.2	17.3

平均値(硬さ、付着性:n=10、含水率、脂質含有率:n=2)

なったと考えられた。一方、塩トラウトサーモンは、マダラに比べて10%程度含水率が低かったにも関わらず、付着性の値はマダラよりも低かった。塩トラウトサーモンは、マダラに比べて10%以上の高い脂質含有率であり、このことが付着性の値を低くした要因の一つになったと考えられた。これまでの介護食品の研究で、マグロのトロは、その高い脂質含有率のため、口腔内での滑りや咽頭通過が良く、嚥下食として用いられてと報告されていることとも関連することが示唆された¹⁷⁾。これらの結果から、含水率及び脂質含有率を上げる加工処理を行うことで、形状保持軟化食品素材のべたつき感を軽減できることが考えられた。

4. 形状保持軟化食品素材の残渣率

形状保持軟化食品素材は、どの部位も均一な組織構造ではなく、素材の種類や処理条件によっては、口腔内で残留し易い繊維状の組織を有するものもある。以前、様々な目開きの大きさのナイロンメッシュを舂めたとき、目開き1mm以上になるとざらつきを感じられることから¹⁰⁾、口腔処理における残留感を評価するため、目開き1mmのナイロンメッシュ上の形状保持軟化食品素材の残渣率を測定した。全体的な傾向として、硬さの値が小さいものほど残渣率の値は小さく(図6)、もっとも硬さの値が小さかったニンジンでは、メッシュ上に残渣が残ら

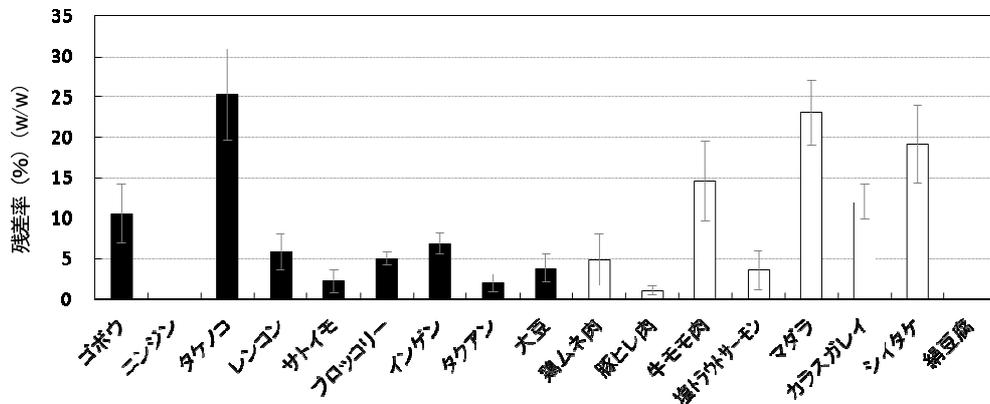


図6 形状保持軟化食品素材の目開き1mmのナイロンメッシュ上の残渣率

平均値±標準偏差 (n=6)

■:「VgTORON 2」で処理 □:「MeTORON 1」で処理

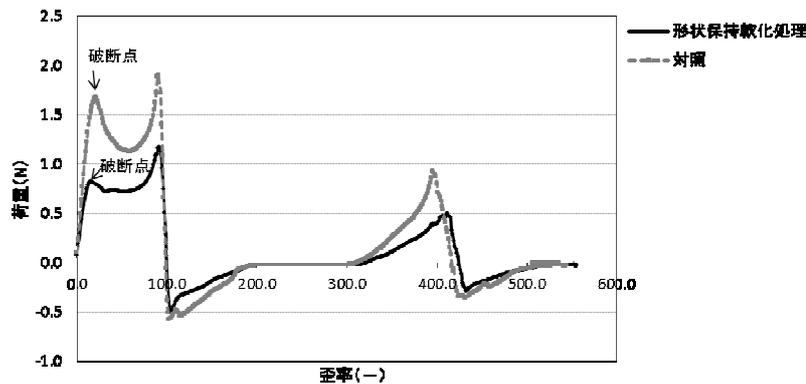


図7 大豆の荷重-歪曲線

ず通過した。このことからニンジン、今回用いた形状保持軟化食品素材の中でもっとも残留感や繊維感が少ないと感じられることが考えられた。動物性の形状保持軟化食品素材においては、硬さの値では鶏ムネ肉や牛モモ肉の方がマダラよりも大きかったが、残渣率の値では鶏ムネ肉や牛モモ肉の方がマダラよりも小さかった。このことから、畜肉類の方が魚類よりも筋繊維の分解を受け易く、繊維感が少なくなり易い可能性が考えられた。シイタケの残渣は、ゲル様で繊維状の残渣に比べて水分を多く含んでいる様子であり、このことによって残渣率の値が大きくなったと考えられた。同程度の残渣率で繊維状のマダラ残渣に比べて、水分を多く含むシイタケ残渣の方が、残留感や繊維感が少なく、纏まり易いと評価され易いと考えられた。

ナイロンメッシュ上の残渣物の評価は、機器測定では評価できないテクスチャーである残留感や繊維感、それらの纏め易さを評価できる物性の一つであると考えられた。

5. 大豆種皮に対する効果

図7に形状保持軟化大豆と対照大豆の荷重-歪曲線を示す。形状保持軟化大豆は、対照に比べて破断点における荷重値が小さく、破断直後に最も小さくなる荷重値との差（もろさの値）も対照に比べて小さかった。この結果は、酵素処理によって大豆の種皮が分解されて薄くなっていることを示唆した。図8の目開き1mmのナイロンメッシュ上の大豆残渣物の写真及び残渣率の結果も、大豆の種皮が分解されていることを示した。メッシュ上の残渣物の多くが種皮であり、酵素処理によって種皮の

残渣量が少なくなり、断片が細かく薄くなっている様子が観察された（図8）。

多くの豆類において、加熱や圧力処理により子葉を軟化できるが、種皮はほとんど軟化できない。このことは、介護食品として用いる場合に口腔内での残留や、嚥下時の安全性の課題となる。豆類の種皮の酵素処理は、口当たりの改善だけでなく、介護食品として物性の安全性の改善にもつながると考えられた。

6. 総括

今回の力学特性の結果から、植物性の形状保持軟化食品素材では、口腔内で潰れ易く、べたつきの少ないものが作製され易いことが示唆された。それには動物性の形状保持軟化食品素材に比べて水分が多いことが寄与していると考えられ、その反面、離水が課題になることも考えられた。動物性の形状保持軟化食品素材では、その脂質含有率にも影響されるが、植物性の形状保持軟化食品素材に比べて付着性や凝集性が高くなり易いことから、べたつき易い反面、纏まりの良いものが作製され易いと考えられた。菌糸類のシイタケでは、破断し難く硬さの値のみで評価すると他の形状保持軟化食品素材に比べて食べ難いことが予想されたが、付着性が極端に低く凝集性が高いことも併せて考えると、口腔内での纏まりや咽頭での滑りが良く、結果的に食べ易い食感になることが考えられた。

本研究結果からも示唆されるように、凍結含浸法による形状保持軟化食品素材の力学特性は、食品素材の種類や調整した硬さといった特定の観点から分類することが難しいと考えられた。しかし、力学特性に関する研究結果を蓄積していくことで、本軟化処理による物性変化の傾向を把握することは可能であり、その知見は今後の商品開発や品質管理に貢献できると考える。

要 約

凍結含浸専用調味料「VgTORON 2」及び「MeTORON 1」を用いて16種類の形状保持軟化食品素材の力学特性を解析した。力学特性は、2バイトテクスチャー試験により、硬さ、付着性、バランス度及び凝集性の値を測定した。また、食感としての残留感や繊維感を評価するため、目開き1mmのナイロンメッシュ上の残渣率を測定した。硬さは、比較対照食品の絹ごし豆腐と同等以下のものが4種類（ニンジン、サトイモ、ブロッコリー、タクアン）認められ、いずれも植物性の試料であった。付着性は、硬さが同等であれば含水率や脂含有率が高いほど小さくなることが示唆された。バランス度は、硬さの値が小さいほど大きくなる傾向であり、4種類（サトイモ、ブロッコリー、タクアン、マダラ）において絹ごし豆腐と同等、2種類（ニンジン、豚ヒレ肉）において絹

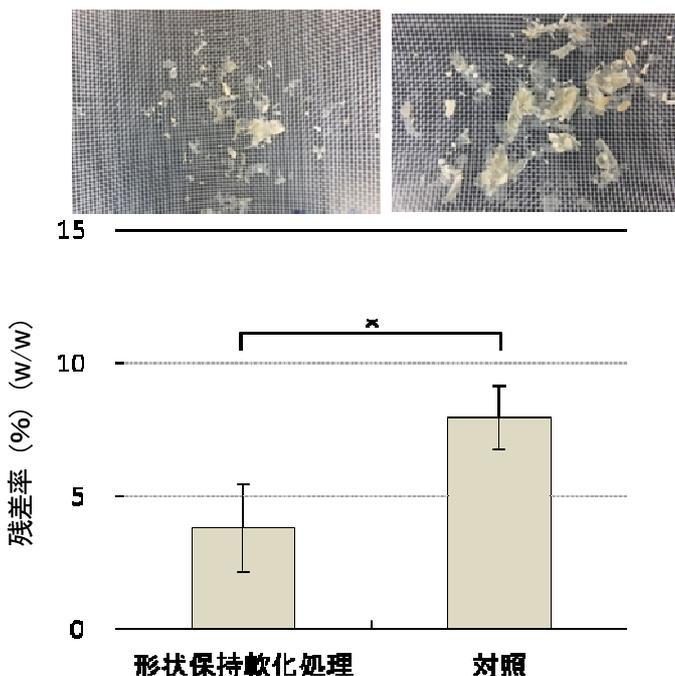


図8 目開き1mmのナイロンメッシュ上の大豆残渣物及び残渣率
 平均値±標準偏差 (n =6). * : P < 0.05

ごし豆腐よりも高い値となった。凝集性は、軟化シイタケを除いて絹ごし豆腐よりも小さい値であった。目開き1 mm のナイロンメッシュ上の残渣率は、硬さの値が小さいほど値が小さくなり易く、動物性の形状保持軟化食品素材では、畜肉類の方が魚類よりも残渣が少ない傾向を示した。大豆は、酵素処理により種皮が分解されることで残渣率が低下し、このことは、口腔内での種皮の残留感が減少し、より安全に喫食できる物性になったことを示唆した。

文 献

- 1) 内閣府, 第1章 高齢化の状況, 平成23年版高齢社会白書.
- 2) 坂本宏司, 井上敦彦, 柴田賢哉, 石原理子, 植物組織への酵素急速導入法, 特許第3686912号(2005. 8. 24).
- 3) Shibata, K., Sakamoto, K., Nakatsu, S., Kajihara, R. and Shimoda, M., Enzymatic Production of malto-oligosaccharide in potato by freeze-thaw infusion. *Food Sci. Technol. Res.*, **16**, 273-278 (2010).
- 4) Shibata, K., Sakamoto, K., Ishihara, M., Nakatsu, S., Kajihara, R. and Shimoda, M., Effects of freezing conditions on enzyme impregnation into food materials by freeze-thaw infusion. *Food Sci. Technol. Res.*, **16**, 359-364 (2010).
- 5) 坂本宏司, 石原理子, 柴田賢哉, 井上敦彦, 凍結減圧酵素含浸による植物組織の軟化及び単細胞化, 日本食品科学工学会誌, **51**, 395-400 (2004).
- 6) Sakamoto, K., Shibata, K. and Ishihara, M., Decreased hardness of dietary fiber-rich foods by the enzyme-infusion method. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **70**, 1564-1570 (2006).
- 7) 中津沙弥香, 柴田賢哉, 石原理子, 坂本宏司, 凍結含浸法を用いた食材の硬さ制御及び離水防止技術の開発, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **11** (1), 24-32 (2007).
- 8) 中津沙弥香, 石原理子, 柴田賢哉, 坂本宏司, 真空包装機を用いた凍結減圧酵素含浸法による形状保持軟化食材の作製, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **13** (2), 120-127 (2009).
- 9) 中津沙弥香, 石原理子, 柴田賢哉, 坂本宏司, 凍結含浸法による軟化根菜類の高齢者による摂食評価, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **14** (2), 95-105 (2010).
- 10) Nakatsu, S., Kohyama, K., Watanabe, Y., Shibata, K., Sakamoto, K. and Shimoda, M., Mechanical properties of softened foodstuffs processed by freeze-thaw infusion of macerating enzyme. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, **16**, 267-276 (2012).
- 11) 平位知久, 福島典之, 小野邦彦, 羽嶋正明, 片桐佳明, 益田慎, 凍結含浸食品の嚥下造影所見についての検討, 日本耳鼻咽喉科学会会報, **113**, 110-114 (2010).
- 12) Nakatsu, S., Kohyama, K., Watanabe, Y., Hayakawa, F., Shibata, K., Sakamoto, K. and Shimoda, M., A trial of human electromyography to evaluate texture of softened foodstuffs prepared with freeze-thaw impregnation of macerating enzymes. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, **21**, 188-194 (2014).
- 13) 中津沙弥香, 柴田賢哉, 坂本宏司, 凍結含浸法により軟化処理したレンコンの消化性, 日本食品科学工学会誌, **57**, 434-440 (2010).
- 14) 豊田文彦, 宮崎基, 坂本宏司, 中津沙弥香, 石原理子, 柴田賢哉, 介護食調理用補助剤, これを用いた介護食, 及び介護食調理器具, 特許第5435384号(2013. 12. 20).
- 15) Bourne M.C., Principles of objective texture measurement, *Food Texture and Viscosity*, 2nd ed., (Academic Press, New York), pp. 107-188 (2002).
- 16) Kohyama K., Ohtsubo K., Toyoshima H. and Shiozawa K., Electromyographic study on cooked rice with different amylose contents. *J. Texture Stud.*, **29**, 101-113 (1998).
- 17) 嚥下食ピラミッドによるレベル別市販食品 250, 第1版, 栢下淳編, (医歯薬出版株式会社, 東京), pp. 64 (2008).