

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月30日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300259

研究課題名（和文）窒息のリスクを考慮した食物の飲み込みやすさの検討

研究課題名（英文）Study on swallowing in consideration of asphyxiation

## 研究代表者

大越 ひろ（OGOSHI HIRO）

日本女子大学・家政学部・教授

研究者番号：80060698

研究成果の概要（和文）：4種のアミロース含有率の異なる米飯の力学的特性と食べやすさの関係を研究した。その結果、摂食時の米飯の広がり考慮したテクスチャー特性から食べやすさの解明が可能である。油脂の状態からマッシュポテトの飲み込み特性について4種の試料を比較すると、水と液状油添加試料が固形脂添加試料に比べ、飲み込みやすいと評価された。この要因は、マッシュポテト食塊に分散する油脂の状態であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Four kinds of cooked rice with different ratios of amylose were studied to examine the relationships between the physical properties and ease of eating. Assuming the dispersion characteristics of the bolus inside the mouth, these results will elucidate the ease of eating of cooked rice. The effects of the properties of oil and fats on the ease of swallowing mashed potato were examined to compare samples. The samples with added water and oil were evaluated to be significantly higher in their ease of swallowing than the samples with added solid fat. These results indicate the importance of ease of mixing with saliva in the process of chewing and of the state of oil and fats dispersed in the bolus to produce suitable swallowing characteristics for mashed potato.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	6,000,000	1,800,000	7,800,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：テクスチャー，窒息，米飯，マッシュポテト，食塊，筋活動電位，食べ易さ

## 1. 研究開始当初の背景

高齢者の「食」のサービス向上には高齢者の摂食機能に応じた食物の提供が必要である。ことに、認知症を発症している高齢者では、食物を一気に口中に詰め込み、窒

息する危険性もある。そこで、安全性の面から、窒息しにくく、飲み込みやすい食べ物の工夫が大切といえる。

## 2. 研究の目的

本研究では、食べ物を口中に取り込み、咀嚼・嚥下する過程における舌の働きに注目し、窒息しにくい条件を探ると共に、飲み込みやすさに影響する要因を探ることを目的とした。すなわち、飲み込みにくい食物と、飲み込みやすい食物を調製し、新しい手法を導入して3次元的な力学的特性を求め、飲み込む際の舌働き、さらには食塊の力学的特性についても検討する。

以上のような手法で研究を行い、「飲み込みにくい食べ物の特徴を捉える」、「飲み込みやすい食べ物の特徴を明らかにする」、さらには「飲み込みやすくする工夫を行い、飲み込みやすさの評価方法を多面的な方法を用い確立する」の3つを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 試料調製

##### ① 米飯試料

アミロース含量の異なる、うるち米、もち米、高アミロース米、低アミロース米の4種の精白米を使用し、加水量を1.5倍に設定し、炊飯を行ったものを米飯試料とした。

##### ② マッシュポテト試料および食塊試料

基準のマッシュポテトはポテトフレークに3倍量の温水を加え、調製した。基準のマッシュポテトに副材料を10%添加、液体添加試料として、水(PW) およびサラダ油(PO)添加試料、固形脂添加試料はゲル状油脂(PF)およびショートニング(PS)添加試料とした。

食塊試料は、マッシュポテト試料を5g口に入れ、指定した咀嚼回数(5、10、15回)まで途中飲み込まずに、吐き出したものとした。また、嚥下できる状態まで自由に咀嚼した自由咀嚼と併せて4条件とした。得られた食塊はそれぞれ、水添加試料の食塊試料をBPW、サラダ油添加試料の食塊試料をBPO、ゲル状油脂添加試料の食塊試料をBPF、ショートニング添加試料の食塊試料をBPSとした。

#### (2) 力学的特性の測定

##### ① テクスチャー特性の測定

測定はレオナー(高分解能型レオナー: RE-3305(株)山電)を用い、試料の測定温度を20℃とした。米飯試料の測定は、直径40mm、高さ20mmの円柱状ステンレス製リングに試料を充填(密度1.0g/ml)した。リングありの状態と、リングを取り外した状態の試料を、直径20mm、高さ25mmの円柱

状プランジャーで圧縮率75%、圧縮速度10mm/secで定速2回圧縮測定を行ない、テクスチャー特性(硬さ、付着性、凝集性)を算出した。

マッシュポテト試料の測定は、40mm、高さ15mmの円柱状ガラスリングに試料を充填した試料を、直径20mm、高さ25mmの円柱状プランジャーで圧縮率66.7%、圧縮速度10mm/secで定速1回圧縮測定を行ない、テクスチャー特性の硬さを算出した。

##### ② バネ緩和法を用いた降伏応力の測定

コーンプレート型回転粘度計(R-U型:東機産業(株))を用い、バネ緩和法により直径28mmの3°コーンを使用した。ローターのひねり角度は60°( $\theta=100\%$ )で120秒間の測定を行い、マッシュポテトのバネ緩和記録曲線の残存指数から降伏応力を算出した。

##### ③ 水平方向の抵抗力の測定

水平方向の抵抗力の測定には、クリープメータ2軸物性試験システム(株式会社山電製)を使用した。この測定装置はX軸(水平方向)とZ軸(垂直方向)のそれぞれの荷重(力)が検出できる。この測定により、抵抗力-摺動距離記録曲線が得られ、初期抵抗力と平均抵抗力を求めた。測定は、マッシュポテト試料を測定用容器(縦50mm×横100mm×高さ5mm)に約30gを平らになるように充填した。プランジャー接触面積200mm<sup>2</sup>(縦20mm×横10mm)、垂直荷重(負荷力)0.1N、摺動距離10mm、摺動速度1mm/secで行った。

#### (3) 顕微鏡観察

マッシュポテト試料および食塊試料について、副材料の分散状態を光学顕微鏡により観察するため、油脂は油溶性色素パブリカオレオレジン(三栄源FFI(株)製)を0.3%(w/w)添加し染色したものをを用いた。倍率は200倍とした。

#### (4) 官能評価

##### ① 米飯試料

口腔機能の健常な18~20歳の若年女性10名の訓練パネルにより、試料4種類を用いて順位法による評価を行なった。評価項目は咀嚼時に感じるかたさ(最もかたいものを1位)、べたつき(最もべたつくものを1位)、ばらつきやすさ(最もばらつくものを1位)、飲み込みやすさ(最も飲み込みにくいものを1位)の4項目とした。試料は、密度が1g/mlとなるようリングに充填し、一口量5mlに成

形したものを試料とした。評価項目ごとに各試料の順位合計を得、順位法の検定はフリードマンの検定を行い、試料間の順位合計の差については、正規分布による近似を用いて検定を行った。

## ② マッシュポテト試料

マッシュポテト試料は、シェツフェの対比較芳賀変法により、両極7点評点法を用い、口腔機能が正常な20~22歳の若年女性のべ36名の訓練パネルで行った。試料の一口量は2gとし、提示温度は20℃とした。評価項目はかたさ（非常にかたい：-3 ←→ +3：非常にやわらかい）、なめらかさ（非常に少ない：-3 ←→ +3：非常に多い）、べたつき感（非常に多い：-3 ←→ +3：非常に少ない）、残留感（非常に多い -3 ←→ +3：非常に少ない）、飲み込みやすさ（非常に飲み込みにくい -3 ←→ +3：非常に飲み込みやすい）の5項目とした。

## (5) 米飯咀嚼時の筋活動電位の測定

咀嚼筋電位の測定はパワーラブシステム4/25Tを用いた。左右の咬筋に双局表面銀電極を粘付し、嚥下開始までの咀嚼中の筋電位を得た。

被験者は、顎口腔系の形態および機能に異常の認められない正常咬合を有する18~20歳の健康な女性6名とした。

米飯試料は官能評価と同様の形態とし、5mlを口の中に取り込み、咀嚼開始から嚥下開始までの咀嚼回数、総筋活動時間などを咬筋の筋電図より読み取った。被験者には、この研究の目的や意義を十分に説明し、インフォームドコンセントを得ると共に、データの取り扱いについては、個人のプライバシーの保護に充分留意した。

## (6) 食塊中の唾液量の算出

食塊試料の唾液量はマッシュポテト食塊に混入している唾液量を105℃で乾燥させて算出し、口腔内の残渣と、うっかり嚥下した分などを考慮して、試料に対する割合として唾液分泌率を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) 米飯試料

リングに充填した米飯（リングあり）と、リング充填後にリングを除去した米飯試料（リング無し）のテクスチャー特性は測定から得られた、テクスチャー特性の硬さとアミロース含量の関係を Fig.1 に示した。

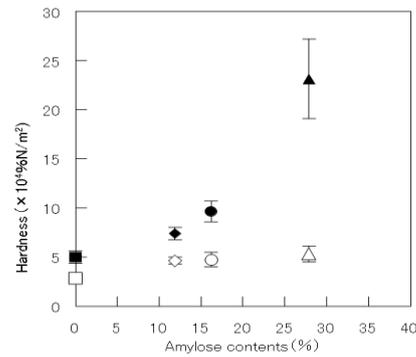


Fig.1 Effect of amylose content on Hardness of cooked rice samples  
 ■, □: Glutinous rice, ◆, ◇: Low-amylose rice  
 ●, ○: Non-glutinous rice, ▲, △: High-amylose rice  
 ■, ◆, ●, ▲: Stuffed into rice,  
 □, ◇, ○, △: released From a ring

リング充填測定で得られた硬さは、高アミロース米試料の硬さが有意に硬くなり、うるち米試料、低アミロース米試料、もち米試料の順に有意に軟らかくなった ( $p < 0.05$ )。同様に、リング除去後の硬さについてみると、もち米試料は他の3種の試料よりも有意に軟らかくなった ( $p < 0.05$ ) が、低アミロース米試料、うるち米試料、高アミロース米試料間ではリング充填測定とは異なり、硬さに有意差は認められなかった。

一方、リング充填で得られた付着性は、リング除去後の付着性に比べ、高アミロース米試料以外の3種の試料において、有意に小さくなった ( $p < 0.05$ )。

リング充填で得られた凝集性は、リング除去後の凝集性に比べ、もち米試料を除いて有意に大きくなった ( $p < 0.05$ )。このことは Fig.2 に示したもち米と高アミロース米の測定後の写真からも明らかのように、高アミロース米がばらけやすいことが観察できる。また、ばらつきが大きく、米粒が広がっているので、高アミロース米試料は摂食時に口中でばらつきと考えられ、嚥下開始までの咀嚼回数および総筋活動時間は長くなる傾向があることと関係しているといえよう。

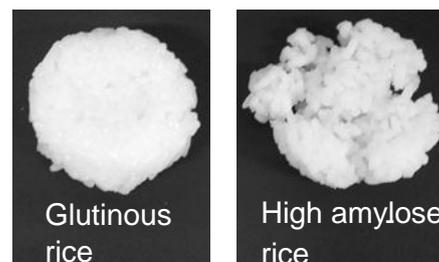


Fig.2 Cooked rice after the two-bite test by removed a ring

さらに、官能評価の結果とテクスチャー特性の測定結果の関係から、テクスチャー測定におけるリング充填の有無は、口中で感じるかたさを推測する際に、リング充填で得られた硬さが有効であることが示された。一方、口中で感じるばらつきを推測するには、リング除去後の凝集性がより有効といえる。

## (2) マッシュポテト試料

### ①テクスチャー特性の硬さ

Table 1 に基準のマッシュポテトに副材

Table 1 Hardness of the samples

Mashed potato samples		Submaterials	
	Hardness ( $\times 10^4 \text{N/m}^2$ )		Hardness ( $\times 10^4 \text{N/m}^2$ )
PW	2.12 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	W	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
PO	1.38 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	O	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
PF	1.40 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	F	0.40 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
PS	1.98 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	S	2.08 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>

PW: mashed potato with 10% water, PO: mashed potato with 10% oil, PF: mashed potato with 10% Fat F (canora oil origin), PS: mashed potato with 10% Fat S (shortening). W:water, O:oil, F:Fat F, S:Fat S. The value represents mean value  $\pm$  standard deviation. Different letter indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) among samples,  $n=12$

料を 10%添加、液体添加試料として、水(PW)およびサラダ油(PO)添加試料、固形脂添加試料はゲル状油脂(PF)およびショートニング(PS)添加試料のテクスチャー特性の硬さを示した。また、副材料のテクスチャー特性の硬さも併せて示した。

マッシュポテト試料の硬さは油脂添加試料 (PO, PF, PS) が、PW に比べて、有意に低値を示し、油脂添加試料間では、PS が PF と PO に比べて、有意に高値を示した。

副材料では、固形脂 F と固形脂 S が水および液状油 O に比べて、有意に高値を示した。すなわち、固形脂の硬さが固体添加試料 (PF と PS) の硬さに反映されていることが示唆されたが、液体添加試料 (PW と PO) では、副材料の硬さと異なる傾向を示した。

以上のことから、水より油脂を加えることはマッシュポテトを軟らかくし、硬さの改善に効果的であることが示された。

### ② 降伏応力

Table 2 に 4 種のマッシュポテト試料の降伏応力を示した。

マッシュポテト試料の降伏応力は液体添加試料 (PW と PO) が固体添加試料 (PF と PS) に比べて、有意に低値を示した。また、固体添加試料間では、PS が PF に比べて、有意に高値を示した。このことから、マッシュ

Table 2 Yield stress and resistance force of the mashed potato samples

	Yield stress ( $\times 10^2 \text{N/m}^2$ )	Initial Resistance ( $\times 10^{-1} \text{N}$ )
PW	1.20 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	2.43 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>
PO	1.15 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.70 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>
PF	3.82 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	2.36 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>
PS	3.95 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	2.26 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>

PW: mashed potato with 10% water, PO: mashed potato with 10% oil, PF: mashed potato with 10% Fat F (canora oil origin), PS: mashed potato with 10% Fat S (shortening). W:water, O:oil, F:Fat F, S:Fat S. The value represents mean value  $\pm$  standard deviation. Different letter indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) among samples,  $n=12$

ポテトに水やサラダ油を添加すると、ずり変形しやすくなることが示唆される。しかも硬さと同様、マッシュポテト試料の降伏応力は副材料の降伏応力が反映した結果となっている。ただし、液体添加試料 (PW と PO) の降伏応力が異なる傾向を示していることから、水平方向の抵抗力として、初期抵抗力を求め、Table 2 に併せて示した。

### ③ 初期抵抗力

初期抵抗力は PO が他の試料に比べて、有意に低値を示した。このことから、PO は水平方向にすべり出しやすく、なめらかであることが示唆された。一方、PW は油脂添加試料に比べて、すべりにくく、なめらかさに欠けることが示され、水平方向の抵抗力の測定の有効性が示唆された。

### ④ 副材料の分散状態の観察

マッシュポテト試料の副材料の分散状態を観察し、特徴的な 2 試料 (PO と PF) について Fig.3 に示した。

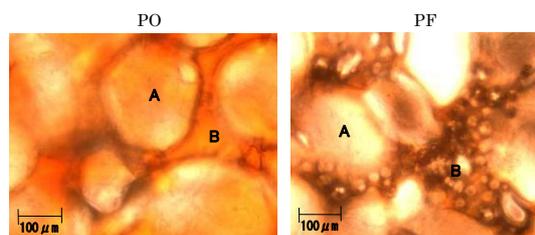


Fig.3 Microphotographs of mashed potato samples ( $\times 200$ )  
PO: mashed potato with 10% oil, PF: mashed potato with 10% Fat F  
A: potato cells, B: oil or fats

図には示していないが、PW ではジャガイモ細胞のみが観察でき、加えた水がジャガイモ細胞中および細胞間と全体に分散していた。一方、PO ではジャガイモ細胞の周りをパプリカオレオレジンで染色した液状油 O が層になって囲んでいる状態が観察できる。固体添加試料 (PF と PS) では、細胞の周

りを染色した固形脂が層になって囲んでいたが、固形脂層の中に小さな気泡が確認される。以上、水と油脂では分散状態が異なり、ことに加える油脂の性状により、異なる結果となり、このことが、力学的性質に影響を与えている可能性が示唆される。

⑤ 飲み込みやすさ

官能評価の結果、マッシュポテト試料の「かたさ」は PW が油脂添加試料に比べて、有意にかたいと評価された。また、「なめらかさ」の項目では、4 試料間に有意な差は認められなかったが、PW のなめらかさがやや少ない傾向にあり、油脂の添加がマッシュポテトのなめらかさの改善に寄与する可能性が示唆された。一方、「べたつき感」、「残留感」、「飲み込みやすさ」の 3 項目とも、液体添加試料 (PW と PO) が固体添加試料 (PF と PS) に比べて、有意にべたつき感が少ないと評価された。

⑥ 力学特性と官能評価の関係

マッシュポテト試料の降伏応力と飲み込みやすさの関係を Fig.4 に示した。飲み込みやすいと評価された液体添加試料 (PW と PO) は固体添加試料 (PF と PS) に比べて、降伏

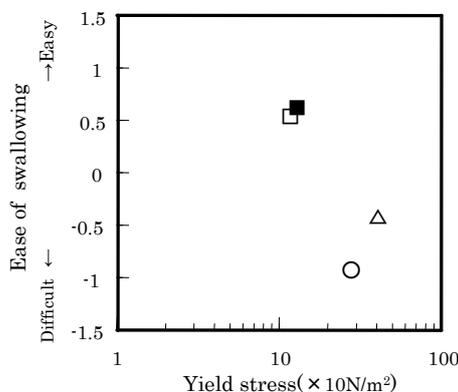


Fig.4 Relationship between the ease of swallowing and yield stress

■ PW:mashed potato with 10% water ,  
 □ PO:mashed potato with 10% oil,  
 ○ PF :mashed potato with 10% Fat F ,  
 △ PS: mashed potato 10% Fat S

応力は低値を示した。すなわち、マッシュポテト試料では、やわらかく、降伏応力が小さい試料であるほど、べたつかず、残留感が少なく、飲み込みやすいことが示唆された。

⑦ 飲み込みやすさと副材料の分散状態

官能評価ではべたつき感と残留感と飲み込みやすさにおいて、固体添加試料である PF が液体添加試料 (PW と PO) に比べて、有意にべたつき感と残留感が多く、飲み込み

にくいと評価された。このことは、Fig.3 に見られるように、固体添加試料の PF では、ジャガイモの細胞と細胞の間に入り込む油脂中に小さな気泡が観察された。固体添加試料では油脂中に気泡が入ることにより、固(固形脂)気(気泡)界面積が大きくなるため、マッシュポテト試料の硬さや降伏応力が高くなり、さらには咀嚼・嚥下に必要な力も大きくしていると推察でき、飲み込みにくいと評価されたと考えられる。

(3) マッシュポテト食塊試料

官能評価結果から、固体添加試料がかたく、飲み込みにくいことが明らかとなったので、その要因を探るため、咀嚼 (5, 10, 15 回) 後の飲み込む直前の食塊を採取し、その性状について検討した。

① 食塊試料の力学的特性の変化

マッシュポテト試料の 5~15 回咀嚼後の食塊試料の硬さ、降伏応力および初期抵抗力は、いずれも液体添加試料の食塊 (BPW と BPO) と固体添加試料の食塊 (BPF と BPS) が 2 極分化した。すなわち、BPW と BPO が BPF と BPS に比べ、軟らかく、広がりやすい性状であり、加える油脂の性状で異なる力学的特性の食塊が形成されることが示唆された。

② 食塊の降伏応力と唾液分泌率の関係

唾液分泌率は、咀嚼 5 回では、液体添加試料の食塊 (BPW と BPO) が固体添加試料 (BPF と BPS) に比べて、有意に高値を示し、咀嚼 10 回では、固体添加試料の食塊 (BPF と BPS) が液体添加試料 (BPW と BPO) に比べて、有意に高値を示し、固体添加試料の

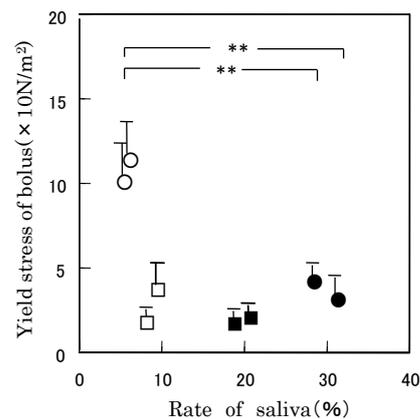


Fig.5 Relationship between rate of saliva and yield stress of bolus

□: bolus of mashed potato with liquid was chewing 5 times ,  
 ○: bolus of mashed potato with solid was chewing 5 times  
 ■: bolus of mashed potato with liquid was chewing 10 times,  
 ●: bolus of mashed potato with solid was chewing 10 times  
 \*\* p<0.01, n=8

食塊の唾液分泌量は咀嚼 5 回から 10 回にかけて顕著に増加していることが示された。

このことを踏まえ、咀嚼 5 回および 10 回における各試料の食塊の唾液分泌量と降伏応力の関係を Fig.5 に示した。

液体添加試料食塊 (□と■) では、硬さと降伏応力において、5 回咀嚼の食塊と 10 回咀嚼の食塊との間に有意差は認められなかったが、固体添加試料食塊 (○と●) では、5 回咀嚼の食塊が 10 回の食塊に比べて、有意に高値を示した。図には示していないが、咀嚼 10 回と咀嚼 15 回では、液体添加試料食塊間(□と■)と固体添加試料食塊間 (○と●) に有意差はみられなかった。

液体添加試料では、いずれの咀嚼回数においても、食塊の硬さと降伏応力では有意差が認められなかったため、咀嚼 5 回、すなわち咀嚼過程の早い段階で、試料中に唾液が入り込み、嚥下可能な食塊に近い性状になっていることが示唆された。

一方、固体添加試料では、咀嚼 5 回では、試料中に入り込む唾液が少ないため、食塊も硬く、広がりにくい性状を示した。しかし、咀嚼回数 10 回では、試料中に入り込む唾液量が顕著に増加し、そのことに伴い、食塊も軟らかく、広がりやすくなり、嚥下可能な食塊に近い性状になることが考えられた。

液体添加試料である PW は、唾液が混合されることで、やわらかくなるが、PO は咀嚼の早い段階で、唾液と液状油 O が O/W 型エマルジョンを一時的に形成すると考えられる。一方、固体添加試料 (PF と PS) は、咀嚼 5 回から 10 回で、唾液分泌量が顕著に増加し、試料と唾液が混合していく中で、固形脂の分散状態も変化し、嚥下可能な食塊を形成していくことが示唆された。

以上より、状態の異なる油脂を添加したマッシュポテト試料で飲み込み特性を二極化した要因は、咀嚼過程における唾液との混合のしやすさと食塊中に分散する油脂の状態である可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

①大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: マッシュポテトの力学的特性に及ぼす油脂の影響, 日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科, 査読なし, 第 18 号, 2012, 69-77

②大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ:

ろ: 油脂の性状がマッシュポテトの飲み込み易さに及ぼす影響, 日本調理科学会誌, 査読あり, 46, 2013, 15-22

③河村彩乃, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: アミロース含有率の異なる米飯の測定条件を考慮した力学的特性測定と食べやすさ, 日本家政学会誌, 査読あり, 64, 2013, 19-28

④大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: さつまいもマッシュの力学特性と飲み込みやすさに及ぼす油脂の影響, 日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科, 査読なし, 第 19 号, 2013, 41-49

⑤大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: 状態が異なる油脂を添加したマッシュポテトの咀嚼過程における食塊の性状の変化について, 日本調理科学会誌, 査読あり, 46, 2013, 205-212

〔学会発表〕(計 5 件)

①河村彩乃, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: アミロース含有率の異なる米飯の力学的特性と食べ易さ, 和洋女子大学, 2011.5

②大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: マッシュポテトの摩擦特性と飲み込みやすさとの関係, 高崎医療福祉大学, 2011.8

③大須賀彰子, 岩崎裕子, 大越ひろ: マッシュポテトの飲み込み特性に関与する力学的特性について, 広島国際会議場, 2011.9

④大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: マッシュポテトの力学的特性に及ぼす油脂の影響, 大阪市立大学, 2012.5

⑤大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: マッシュポテトの食塊形成に及ぼす油脂の影響について, 秋田大学, 2012.8

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大越ひろ (OGOSHI HIRO)

日本女子大学・家政学部・教授

研究者番号: 80060698

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

①高橋智子 (TAKAHASHI TOMOKO)

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・教授

研究者番号: 10364861

②岩崎裕子 (IWASAKI YUKO)

日本女子大学・家政学部・助教

研究者番号: 60511194

③河村彩乃 (KAWAMURA AYANO)

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・助手

研究者番号: 30600118