

# 小麦粉の一部に化工澱粉を添加した食パンの 調理科学的特性

山本 未穂 菊地 和美  
知地 英征 高橋 セツ子

## Abstract

Recently, there have been many reports regarding bread in which a portion of the flour is replaced with one of three chemically-modified starches. In order to improve the availability of starch and coarse cereals. This study aimed to develop cooked and processed food that would be suitable for those with illnesses requiring a restriction on protein intake and examine the properties and foodscience-related characteristics of bread in which a portion of the flour was replaced with chemically-modified starch produced from potatoes to enhance the function of starch. In this experiment, we measured the water content, color tone and properties of the bread, and carried out sensory tests. The experimental results suggested that the starch-substituted bread, showed distinctive properties. Based on these results, we speculate that it is possible to produce tasty bread by further examining the types and composition ratio of starch substitutes.

**Keyword:** chemically-modified starch, bread specific volume, hardness

## 1. 緒言

澱粉は古くから人類の大切な食糧として日本のみでなく、世界各国で利用されてきた。北海道における馬鈴しょ澱粉の製造は安政年間（1850年代）に始まったともいわれているが、販売用としては明治 15 年（1880 年）渡島支庁八雲村において水車を動力として製造されている<sup>1)</sup>。現在、北海道の馬鈴しょ生産量（2008 年 213 万 1,000 t・全国の 79.0%）のうち、50%以上（2003 年 55.1%、2004 年 54.3%、2005 年 54.2%、2006 年 55.0%）が澱粉の原料として用いられている<sup>2)~5)</sup>。馬鈴しょ澱粉は水産練り製品や畜産製品、調理食品、製菓用に需要が多く、はるさめやオブラートなどは馬鈴しょ澱粉の固有用途ともいわれ<sup>1)</sup>、その用途は広い。

一方、澱粉に化学的・物理的処理を施した化工

澱粉がさまざまな形で利用されている<sup>1),6),7)</sup>。澱粉にヒドロキシプロピル基を導入・付加することにより、親水性の増大や、糊化温度の低下が起り、糊化液の物性が変化することが報告されており、食感改善や粘度安定性および耐熱性の向上を目的として利用されている<sup>1)8)</sup>。近年、澱粉や雑穀の利用性を高めるために小麦粉の一部を澱粉などと置換したパンの報告が多くみられている。高崎ら<sup>8)</sup>は、数%の化工澱粉添加は、澱粉の老化抑制、冷凍生地調製法におけるパンの容積低下や品質劣化防止に有効であると報告している。さらに、ベーカリー製品への化工澱粉の役割として、テクスチャーの改良や機能性付与（保存性の向上、電子レンジ耐性、水分や糖度のコントロール<sup>9)10)</sup>）などがあげられる。このように化工澱粉を添加したパンは従来とは異なる食感となり、さらに、新たな機能が付与される。また、小麦粉パンに澱粉を添

Miho YAMAMOTO  
Kazumi KIKUCHI  
Hideyuki CHIJI  
Setsuko TAKAHASHI

藤女子大学人間生活学部食物栄養学科  
藤女子大学人間生活学部食物栄養学科  
藤女子大学人間生活学部食物栄養学科  
藤女子大学人間生活学部食物栄養学科

藤女子大学大学院人間生活学研究科食物栄養学専攻  
藤女子大学大学院人間生活学研究科食物栄養学専攻

加することによってたん白質含有量を低下させ、低たん白質パン製造への利用も期待される。馬鈴しょ澱粉は、他の澱粉と比較して、脂質含有量が1%以下と極めて低く、素材の風味に影響を与えない<sup>9)</sup>と言われている。

本研究では、たん白質摂取制限のある疾病に適する調理加工食品の開発を目的とし、馬鈴しょ澱粉に澱粉の有する機能をさらに助長した化工澱粉を加えた食パンを作製し、その性状や調理科学的特性と嗜好性について比較検討した。

## 2. 試料及び調製方法

### 1) 試料

実験に使用した化工澱粉は馬鈴しょ澱粉原料である酢酸澱粉：Starch acetate (エステル化澱粉) とアセチル化リン酸架橋澱粉：Acetylated distarch phosphate (エステル化・架橋澱粉)、およびヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉：Hydroxypropyl distarch phosphate (エーテル化・架橋澱粉) の3種類である。化工澱粉は松谷化学工学<sup>(株)</sup>から購入した。非化工澱粉は土幌町農業協同組合製の馬鈴しょ澱粉を用いた。これらの化工澱粉中の水分、pH および粘度を表1に示した。

表1 化工澱粉の水分、pH および粘度

化工澱粉の種類	水分(%)	pH	粘度(BU)
酢酸澱粉	17.0~19.0	6.0~7.5	1800以上
アセチル化リン酸架橋澱粉	17.0~19.0	6.0~7.5	1800以上
ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉	16.0~19.0	6.5~8.0	700~1100

松谷化学工業<sup>(株)</sup> (品質規格書)<sup>9)</sup>

食パン試料は化工澱粉を添加した3種類(酢酸澱粉：以下 Ac-S と略す、アセチル化リン酸架橋澱粉：以下 Ac-P-S と略す、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉：以下 HP-S と略す) と澱粉を添加しないコントロールの4種類とした<sup>10)</sup>。小麦粉は横山製粉<sup>(株)</sup>製強力粉、ドライイーストは日清フーズ<sup>(株)</sup>製、砂糖は日本甜菜製糖<sup>(株)</sup>製の上白糖、塩は(財)塩事業センター製の精製塩、スキムミルクおよびバターは雪印乳業<sup>(株)</sup>製を用いた。水はぬる

ま湯(20°C)とした。

### 2) パンの調製

製パンは、自動ホームベーカリー(㈱日立ホームテック、HB-C2形)を用い、1斤ずつ作製した。コントロールの材料は水180ml、小麦粉250g、塩4g、砂糖14g、バター15g、スキムミルク5g、ドライイースト3gの順に投入し、混捏(32~36分)、発酵(130~140分)、焼成(63~68分)を行った。化工澱粉の添加割合は小麦粉に対して0%、25%および30%とした。小麦粉と澱粉は1度ふるったものを使用した。焼成後1時間室温(25°C)に放冷した食パンを試料とした。

## 3. 実験方法

### 1) パンの水分量

水分量は焼成後1時間室温(25°C)に放冷した試料のクラム(パン内部の白色部分)の中央部を厚さ1cmに切り、電子式水分計(島津製作所製、MOC-120H)を用いて、乾燥減量法(105°C)により測定した。測定は3回行った。

### 2) パンの体積および比容積

焼成後1時間室温(25°C)に放冷した試料を用い、菜種置換法により体積を測定した。比容積は下記の計算式により算出した。測定は3回行った。

$$\text{比容積} = \text{体積}(\text{ml}) \div \text{重量}(\text{g})$$

### 3) パンの色調と色差

クラムはパンを縦半分になり、底部より5cm、左右側面から2cmの部分を除いて調整し、側面のクラスト(外皮側面部)は3cm直方体に切断した試料を分光色彩計(日本電色工業<sup>(株)</sup>製、SD-5000)により、CIE系に属するL\*値、a\*値、b\*値を測定し、これらの数値から彩度(C\*値)および色差(ΔE)を下記の計算式により算出した。測定はクラム、クラスト共に4回行った。

$$C^* \text{値(彩度)} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\Delta E \text{(色差)} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

色差は感覚的な表現において0~0.5: trace(かすかに)、0.5~1.5: slight(わずかに)、1.5~3.0: noticeable(感知せられるほどに)、3.0~6.0: appreciable(めだつほどに)、6.0~12.0: much(大いに)、12.0以上: very much(非常に)

として示されている<sup>10)</sup>。

#### 4) パンの物性測定

焼成後1時間室温(25°C)に放冷した試料の中心部より一定体積パン(2 cm 直方体)を切り出し、クリープメーター(山電㈱、レオナーRE.3305)を用いてテクスチャー解析の凝集性、ガム性応力を測定した。測定条件はプランジャーφ16 mm、測定速度1 mm/s、戻り距離5 mmとした。測定は4回行った。

#### 5) 官能評価

焼成後1時間室温(25°C)に放冷した試料について、藤女子大学教職員(8名)をパネラーとし、3種類の化工澱粉添加パンの官能評価を行った。官能評価は各質問項目(色、キメ、香り、もちもち感、弾力性、しっとり感)についてその特性と嗜好性および総合評価をそれぞれ5段階評点法で行った。

#### 4. 統計解析

統計解析は、エクセル統計のソフトを使用し、二元配置分散分析法を用い、有意水準は5%未満とした。測定値は平均値±標準偏差で表した。

#### 5. 結果および考察

##### 1) 澱粉糊液の粘度

澱粉の基礎的性質を調べるために、1%澱粉糊液を作製し、粘度を測定した(図1)。測定条件は、化工澱粉および非化工澱粉の1%濃度の懸濁液を電子レンジの回転台の中央に置き、30秒間加熱した糊液を45 ml セルに充填して静置し、55°Cから35°Cの粘度をSV型粘度計(ADI ㈱社製 SV-10)によって測定した。粘度はいずれも温度が低下するに伴って、高くなった。化工澱粉のうち、特に、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉糊液が高く(35°C:6251 mPa・s、55°C:5460 mPa・s)、次いで、アセチル化リン酸架橋澱粉糊液であった(35°C:3044 mPa・s、55°C:2399 mPa・s)。両者の化工澱粉は非化工澱粉糊液の粘度と比較すると有意差がみられた(ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉  $p < 0.01$ 、アセチル化リン酸架橋澱粉  $p < 0.05$ )。澱粉糊液の粘度は二元配置分散分析の

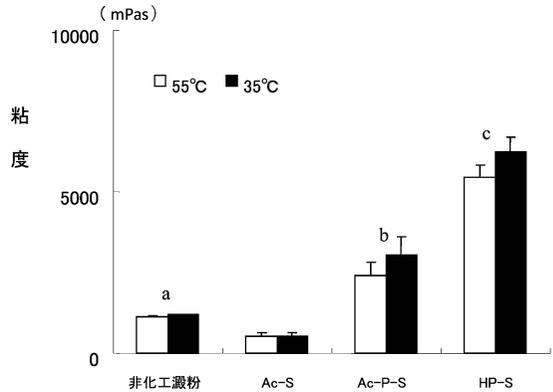


図1 各温度における澱粉糊液の粘度

澱粉の種類	$p < 0.05$
温度	n.s
ab	$p < 0.05$
ac	$p < 0.01$

結果、澱粉の種類によって有意差がみられたが( $p < 0.05$ )、温度については有意差はみられなかった。高崎ら<sup>8)</sup>によれば、アミログラフによる澱粉の糊化特性はヒドロキシプロピル化により糊化開始温度が低下し、高粘度の糊が得られることを報告している。本研究においてもいずれの温度ともヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉糊液の粘度が最も高かったことから、今後は加熱後の化工澱粉と非化工澱粉粒の形状からみた検討が必要と思われる。

##### 2) パンの水分量

パンの水分量を図2に示した。化工澱粉添加による有意差はみられなく、水分量は化工澱粉25%添加パンが45.90±0.29%、30%添加パンが45.89±0.51%、コントロールが45.90±0.29%であった。また、化工澱粉パンの水分量はアセチル

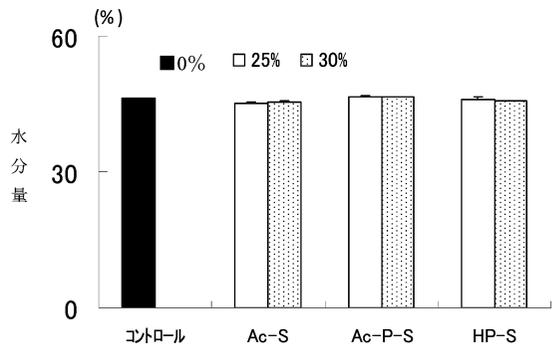


図2 化工澱粉添加パンの水分量

化リン酸架橋澱粉(25%:46.47±0.39%、30%:46.45±0.46%)、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(25%:46.10±0.18%、30%:45.67±0.65%)、酢酸澱粉(25%:45.14±0.29%、30%:45.54±0.41%)であった。

### 3) パンの体積および比容積

パンの体積を図3に、比容積を図4に、縦断面を図5に示した。パンの体積は化工澱粉がコントロールに比べて約20%小さく、化工澱粉を添加することがパンの膨化に影響を及ぼすことがうかがえる。比容積は体積と同様の傾向を示した。

### 4) パンの色調と色差

パンのクラストの色調と色差を表2および図6に示した。明度(L\*値:lightness)は、同じ条件で照明された白に見える面で標準化された明るさを示すが、化工澱粉添加パンはコントロールに比べて高くなり、いずれも有意差がみられた( $p < 0.01$ )。すなわち、L\*値はヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(52.0)、次いで、アセチル化リン酸架橋澱粉(51.8)、酢酸澱粉(51.0)、コントロール(46.0)の順に低くなった( $p < 0.05$ )。鮮やか

さを示す彩度(C\*値)は酢酸澱粉(36.7)、アセチル化リン酸架橋澱粉(34.3)、コントロール(32.8)、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(31.2)の順に低かった。彩度は赤色味a\*値と黄色味b\*値により、算出される指標である。a\*値とb\*値は酢酸澱粉が高く、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が低かった。化工澱粉を添加したパンの色差( $\Delta E$ )は(表3)、コントロールに比べてヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(6.5)が感覚的表現において「大いに」(much)、酢酸澱粉(4.1)は「めだつほどに」(appreciable)、アセチル化リン酸架橋澱粉(1.7)は「感知せられるほどに」(noticeable)であった。化工澱粉パンのクラストがコントロールに比べて明るくなっていたことは、高崎ら<sup>8)</sup>によれば、小麦粉の量が減ることによってたん白質が減り、アミノカルボニル反応が起こる割合が減ったためと考えられるとあり、本研究においても同様のことが推察された。

パンのクラムの色調と色差を表3および図7に示した。L\*値は、コントロールが最も高く(73.1)、次いで、酢酸澱粉(72.4)、アセチル化リン酸架橋澱粉(72.2)、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(71.2)の順に低くなった。C\*値はア

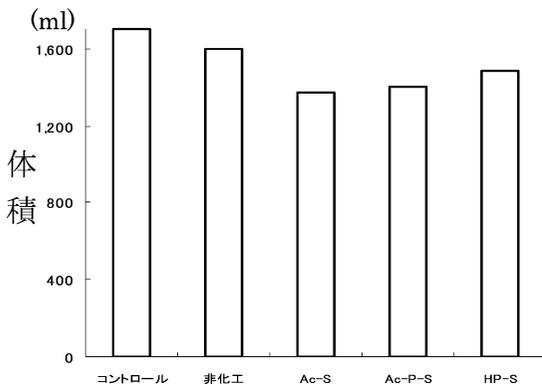


図3 化工澱粉添加パンの体積

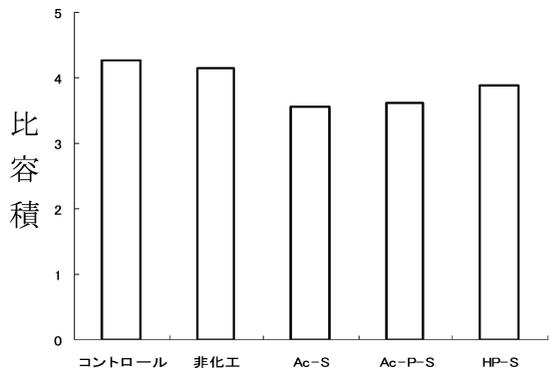
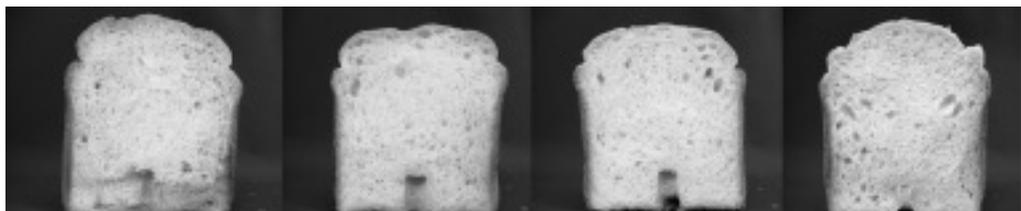


図4 化工澱粉添加パンの比容積



コントロール

Ac-S

Ac-P-S

HP-S

図5 パンの縦断面

表2 パン（クラスト）の色調と色差

	L*値	a*値	b*値	C*値	ΔE
コントロール	46.0	13.1	30.1	32.8	0
Ac-S	51.0	13.6	34.1	36.7	4.1
Ac-P-S	51.8	12.8	31.8	34.3	1.7
HP-S	52.0	10.7	29.3	31.2	6.5

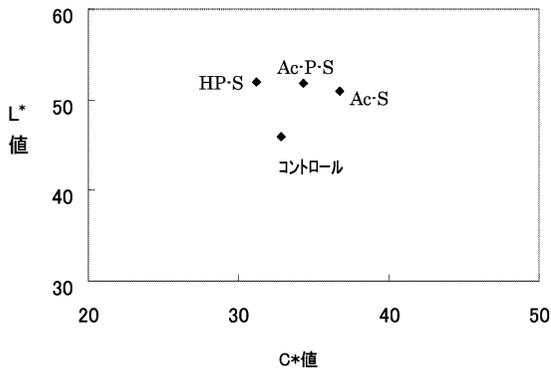


図6 パン（クラスト）の色調

セチル化リン酸架橋澱粉(18.4)と酢酸澱粉(18.2)が高い傾向を示し、コントロール(17.7)とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(17.5)が低い傾向を示した。b\*値はアセチル化リン酸架橋澱粉(18.3)と酢酸澱粉(18.1)が高い傾向を示し、コントロール(17.5)とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(17.4)が低い傾向を示した。アセチル化リン酸架橋澱粉と酢酸澱粉は共にb\*値が高かったことから、やや黄色味づいた色を呈していることがうかがえる。化工澱粉を添加したパンの色差(ΔE)は表3に示した。ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉(2.0)の色差はコントロールに比べて、感覚的表現において「感知せられるほどに」(noticeable)、アセチル化リン酸架橋澱粉(1.3)と酢酸澱粉(0.6)は「わずかに」(slight)であった。

一方、澱粉糊液の色調と色差を図8および表4に示した。明度(L\*値)は、非化工澱粉糊液が最も高く(31.5)、次いでアセチル化リン酸架橋澱粉糊液(30.9)とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉糊液(30.8)、酢酸澱粉糊液(29.1)の順に低くなった。彩度(C\*値)は非化工澱粉糊液が最も高く(4.0)、次いで、アセチル化リン酸架橋澱粉糊液(3.0)、酢酸澱粉糊液(2.5)、ヒドロキシ

表3 パン（クラム）の色調と色差

	L*値	a*値	b*値	C*値	ΔE
コントロール	73.1	-2.3	17.5	17.7	0
Ac-S	72.4	-2.2	18.1	18.2	0.6
Ac-P-S	72.2	-2.0	18.3	18.4	1.3
HP-S	71.2	-2.0	17.4	17.5	2.0

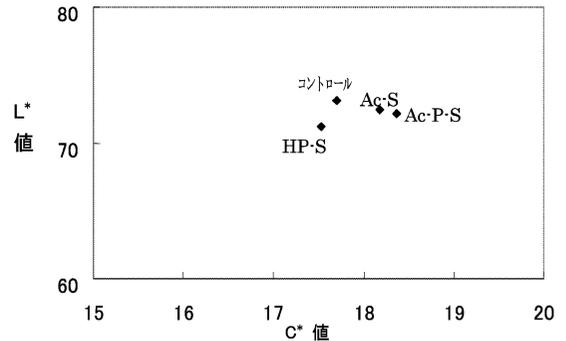


図7 パン（クラム）の色調

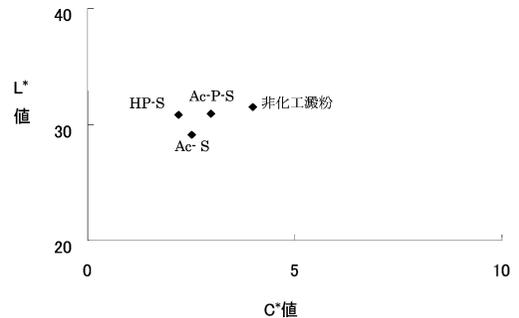


図8 澱粉糊液の色調

表4 澱粉糊液の色調と色差

	L*値	a*値	b*値	C*値	ΔE
非化工澱粉	31.5	-0.2	-4.0	4.0	0
Ac-S	29.1	-0.1	-2.5	2.5	2.4
Ac-P-S	30.9	-0.2	-3.0	3.0	1.0
HP-S	30.8	-0.3	-2.2	2.2	1.9

プロピル化リン酸架橋澱粉糊液(2.2)の順に低くなった。色差(ΔE)は非化工澱粉糊液に比べて、酢酸澱粉糊液(2.4)が感覚的表現において、「感知せられるほどに」(noticeable)、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉糊液(1.9)とアセチル化リン酸架橋澱粉糊液(1.0)は「わずかに」(slight)

であった。

### 5) パンの物性測定

クリープメーターによるパンのガム性応力と凝集性を図9、10に示した。凝集性は1回目押し引き動作中のプラス側の仕事量であるA1の面積(エネルギー)に対する2回目押し引き動作中のプラス側の仕事量であるA2の面積(エネルギー)の比率である。凝集性は物質の形態を形成している内部結合力、加圧に対する保形性の強弱を表す値ともみられる<sup>13)</sup>という報告があるが、本研究では、凝集性において化工澱粉パンはコントロールに比べほぼ同様の傾向がみられた。ガム性応力(N/m<sup>2</sup>)は、かたさ応力(N/m<sup>2</sup>)×凝集性で求められ、かたさ応力はかたさ荷重の単位面積あたりの力である。本研究では、ガム性応力はコントロールに比べ、酢酸澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が高い傾向を示した。

### 6) 官能評価

化工澱粉パンの食味特性における官能評価を図11に示した。評価は「ふつう」を評点3として、各々の評点平均値を示した。官能評価から得られた特性の「色」はアセチル化リン酸架橋澱粉が酢酸澱粉に比べ有意に高かった。 $(p < 0.05)$ 。嗜好性はいずれもふつうより高かった。特性の「香り」ではアセチル化リン酸架橋澱粉が高く(4.0)、嗜好性でも同様の結果であった。特性の「もちもち感」は酢酸澱粉が最も高く(4.5)、嗜好性でも同様の傾向(4.3)であった $(p < 0.05)$ 。特性の「弾力性」はヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉とアセチル化リン酸架橋澱粉(4.0)が高く、嗜好性はヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が高かった。このことは、図1に示したとおり、化工澱粉において高粘度の糊が得られたことに起因してい

ると推察される。特性の「しっとり感」はヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が最も高く(4.0)、嗜好性では酢酸澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が高かった。

評価項目のうち「もちもち感」が最も高く(4.1)、このことはベーカリー製品への化工澱粉の役割がテクスチャーの改質に、食感としては「もちもち」とした感じのパンであると考えられる、という報告<sup>9)</sup>と本研究は同様の結果であると推察される。嗜好性における総合評価はいずれの化工澱粉パンも「ふつう」から「やや好き」の範囲にあり、「ふつう」よりも高い評価が得られた。

以上の結果から、各々の化工澱粉添加パンがもちもち感、しっとり感などのテクスチャーの改質につながることを確認でき、たん白質摂取制限のある疾病に適する調理加工食品の開発に有用であることが示唆された。今後は非化工澱粉添加パンと各々の化工澱粉添加パンの特性をより明確にすることが必要であると考えられ、その上で添加する化工澱粉の種類や配合割合を変化させることによって、個々の嗜好により適したベーカリー製品の作製が可能であると思われる。

## 6. 要約

本研究では、たん白質摂取制限のある疾病に適する調理加工食品の開発を目的とし、馬鈴しょ澱粉に澱粉の有する機能をさらに助長した化工澱粉を添加した食パンを作製し、パンの性状や調理科学的特性と嗜好性について比較検討した。

- 1) 化工澱粉糊液の粘度は、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉 $(p < 0.01)$ とアセチル化リン酸架橋澱粉 $(p < 0.05)$ が非化工澱粉糊液より、有意に高かった。
- 2) パンの水分量は化工澱粉25%添加が $45.90 \pm 0.29\%$ 、30%添加が $45.89 \pm 0.51\%$ 、コントロー

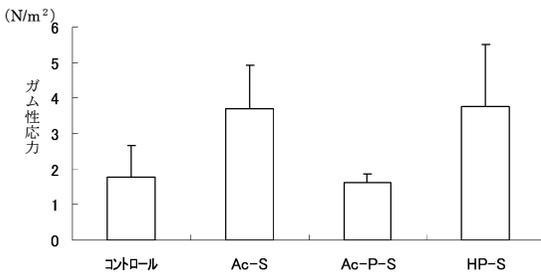


図9 化工澱粉添加パンのガム性応力

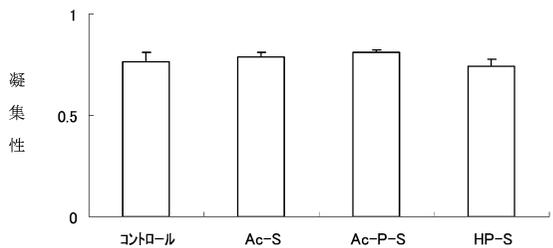


図10 化工澱粉添加パンの凝集性

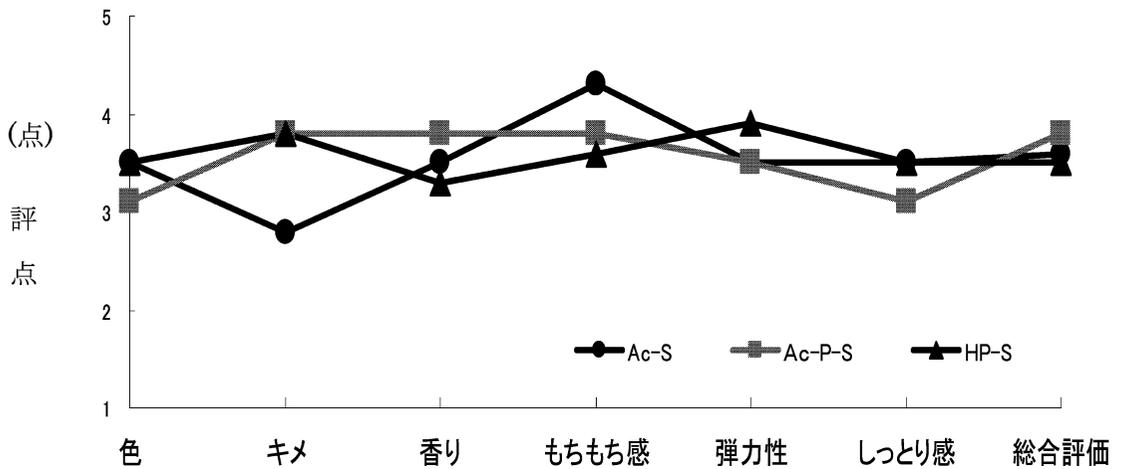
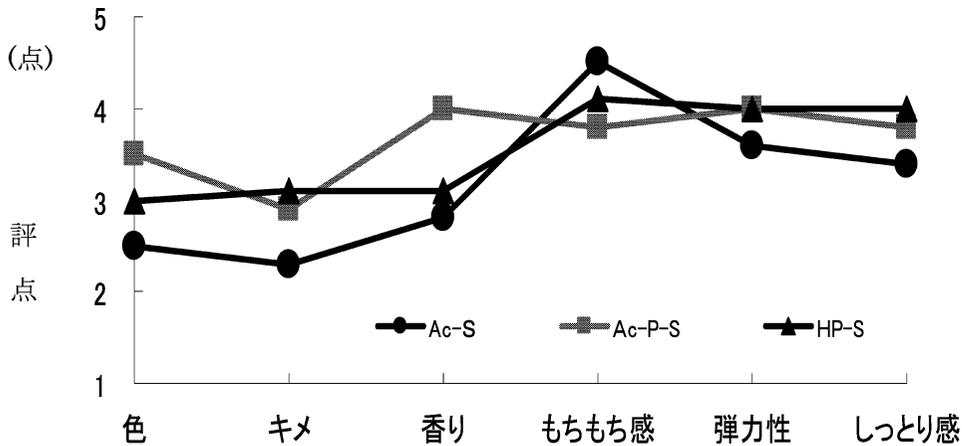


図 11 化工澱粉パンの官能評価

ルが  $45.90 \pm 0.29\%$  であった。

- 3) パンの比容積は化工澱粉よりもコントロールが大きかった。
- 4) パンの色調では彩度はアセチル化リン酸架橋澱粉と酢酸澱粉が高い傾向を示し、コントロールとヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が低い傾向を示した。
- 5) 凝集性において化工澱粉はコントロールに比べ、ほぼ同様の傾向を示した。ガム性応力はコントロールに比べ、酢酸澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉が高い傾向を示した。
- 6) 官能評価から得られた特性の「色」はアセチル化リン酸架橋澱粉が酢酸澱粉に比べ有意に高

かった。特性の「もちもち感」は酢酸澱粉が最も高く (4.5)、嗜好性でも同様の傾向 (4.3) を示した ( $p < 0.05$ )。嗜好性の総合評価は、いずれの化工澱粉添加パンも「ふつう」から「やや好き」の範囲にあり、「ふつう」よりも高い評価が得られた。

本研究の一部は、藤女子大学研究奨励助成を受けて行ったものであることを記して感謝の意を表します。また、研究を進めるにあたり、ご協力いただきました関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 文献

- 1) 高橋禮次：でん粉製品の知識，幸書房，1-26，92-118 (2002)
- 2) 札幌商工会議所：北海道フードマイスター平成19年度版，札幌商工会議所，48-49 (2007)
- 3) 北海道農業協同組合：北海道の農業2009，株式会社北海道協同組合通信社，6 (2009)
- 4) 農林水産省生産局：「いも類に関する資料」
- 5) 農林水産省大臣官房統計部：農林水産統計，2009年2月6日公表
- 6) 島下昌夫：調理と化工澱粉，日本調理科学会誌，25(3)，243-248 (1992)
- 7) 小倉徳生：澱粉科学ハンドブック，朝倉書店，東京，92-518 (1977)
- 8) 高崎禎子，峯木真知子：馬鈴薯でん粉あるいは化工馬鈴薯でん粉添加が製パン製に及ぼす影響，日本調理科学会誌，34(1)，53-61 (2001)
- 9) 松谷化学工業㈱品質規格書および資料
- 10) 日本電色工業㈱資料
- 11) 不破英次，小巻利章，檜作進，貝沼圭二：澱粉科学の事典，朝倉書店 (2003)
- 12) 井上吉世，安藤真美，北尾悟：乾燥おからの添加がケーキの食味と物性に及ぼす影響，日本食生活学会誌，19(3)，280-284 (2008)