

## グルテンフリー米粉パンの生地膨化と食味に対する電解水の影響

### Effect of electrolyzed water on the fermentation and the taste of gluten-free rice flour bread

山 口 智 子

Tomoko YAMAGUCHI

#### 1. はじめに

米粉パンはもちもち感やしっとり感があり、米の甘みを感じられ、腹持ちが良いなどの特徴がある。その一方で、小麦パンに比べて水分含量が高く、老化の進行が早い、硬くなりやすいという問題点も指摘されている。この欠点は米粉パンの品質と食味の低下を招くこととなり、消費者の購買意欲にも影響を及ぼすため、米粉パンの普及に大きなマイナス要因となる。米粉パンの材料となる米粉と水との関係性は深く、米粉の粒度や製粉方法と吸水性に関連があることが報告されている<sup>1-3)</sup>。種々の調理加工操作においても水の果たしている役割は多く、成分の浸出をはじめ、吸水、加熱調理における熱の媒体、酸化の抑制、風味の向上など様々な働きを持っている<sup>4)</sup>。したがって、水は調理加工における最も重要な材料とも言える。

水に関しては、近年、各方面から機能水が注目されている<sup>5,6)</sup>。機能水とは「人為的な処理によって再現性のある有用な機能を獲得した水溶液の中で、処理と機能に関して科学的根拠が明らかにされたもの、及び明らかにされようとしているもの」と日本機能水学会により定義されている。電解水は、水道水や薄い食塩水などを隔膜を介して電気分解することによって得られる機能水で、このとき陽極側からは酸性電解水（酸性水）、陰極側からはアルカリ性電解水（アルカリ水）が生成される。アルカリ水は、水道水に対して高pH、高濃度のカチオン及び還元性

によって特徴付けられる水であり、アルカリ（性）イオン水、電解還元水とも呼ばれている。胃腸症状の改善に有効であることから、医療現場でも多く用いられている<sup>7,8)</sup>。また、抽出力や溶解力が強く、食品のやわらかさを増すとされている<sup>9)</sup>。逆に、酸性水は低pH、高濃度のアニオン及び酸化性によって特徴付けられ、酸性イオン水、電解酸化水とも呼ばれている。殺菌・消毒効果や素材の引き締め効果を有し、食品加工現場における殺菌処理、アストリンゼンとして美容用に用いられている<sup>9,11)</sup>。しかしながら、これらの電解水を調理加工に用いた場合の食品の味、物性、調理加工そのものへの影響に関する報告は少ない。とくに、米粉食品の調理加工過程における機能水の効果については明らかではない。

これまでに筆者らは、食物アレルギーの原因食品である小麦粉、卵、牛乳を含まず、グルテンの代替としてヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）を添加したグルテンフリー米粉パンについて研究を進めてきた。そこで本研究では、電解水を用いて、グルテンフリー米粉パンの生地一次発酵における膨化に対する影響を明らかにするとともに、米粉パンの食味評価を行ったので報告する。

#### 2. 実験方法

##### （1）試料

米粉は平成23年新潟県産コシヒカリDKタイプ（新潟製粉㈱）を用いた。増粘剤として、信越化学工業㈱製のヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）SFE-4000を用いた。ドライイーストは日

清フーズ(株)製の日清スーパーカメリアドライイースト, オリーブオイルは(株)J-オイルミルズ製のエクストラバージンオリーブオイル, 食塩は(株)塩業センター製の食塩, 上白糖は日新製糖(株)製の白砂糖を使用した。水はアルカリイオン整水器ヒューマンウォーター HU-88 (株)OSG コーポレーション)で生成された浄水, 酸性電解水(酸性水), アルカリ電解水(アルカリ水)を用いた。浄水は有害な不純物を取り除いた水として, 比較対象とした。

## (2) 米粉パン生地調製

米粉パン生地の配合割合は表1の通りとした。ドライイーストは予め温湯に溶かし, その他の材料はボールに入れて泡だて器で混合した。これらを合わせて, ハンドミキサー(ラッセルホブス・パワーハンドミキサー 1128JP)の低速モードで1分間攪拌し, さらに, 中速モードで2分間攪拌した。

表1 米粉パン生地の配合割合

材 料	分量	(%)
米 粉	250 g	(100)
食 塩	5 g	(2)
上白糖	20 g	(8)
ドライイースト	3.75 g	(1.5)
HPMC	2 g	(0.8)
オリーブオイル	12.5 g	(5)
水	175-275mL	(70-110)

## (3) 水質測定<sup>12)</sup>

電解水のpHをpHメーター(株)堀場製作所, f-52型)で測定した。また, キレート滴定によりpH10において水中に存在する主な金属イオンの総量を定量し, 水の硬度とした。

## (4) 膨化度の測定<sup>13)</sup>

調製した米粉パン生地(加水量70, 80, 90, 100, 110%の5段階)をメスシリンダーに20mL計り取り, 膨化度を15分間隔で120分間測定した。その際, 発酵温度は25, 30, 35, 40℃の4段階に設定した。

## (5) 米粉パンの調製

浄水, 酸性水, アルカリ水の3種類の水を用いて加水量90%で調製した米粉パン生地を, 25℃で50分間, 1次発酵させた。その後, ハンドミキサーの高速モードで1分間攪拌し, ガス抜きをした。この生地をパン型に流し込み, 恒温器(インキュベーター TVN480DA, アドバンテック製)に入れ, 温度36～

38℃, 湿度90%で2次発酵させた。パン生地がパン型の70%程度に膨らんだら蓋をして, 180℃の電気オーブン(スチームオーブンレンジNE-R3000 (R), Panasonic(株)製)で45分間焼成した。焼成したパンは型から取り出し, 金網にのせて25℃で3時間放冷した。

## (6) 官能評価

焼成した米粉パンを2cmの厚さにスライスし, 一枚を4つ切りにしたものを試料とした。本学教育学部女子学生30名(平均年齢21.0±1.2歳)をパネルとして, 外相の色, 内相の色, きめ, 弾力, 硬さ, もちもち感, しっとり感, 風味, 総合評価の9項目について官能評価を行った。浄水を用いて製造した米粉パンを基準(普通0)とし, 非常に良い(+3), かなり良い(+2), やや良い(+1), 普通(0), やや悪い(-1), かなり悪い(-2), 非常に悪い(-3)のパネルの評価を単純集計し, 評価項目ごとに平均点と標準偏差を求めた。そして, T検定により有意差を求めた。

## 3. 実験結果

### (1) 電解水のpHおよび硬度

パン生地の膨化度測定に先立ち, 使用した電解水のpHおよび硬度を測定した(表2)。pHは浄水は7.3, 酸性水は6.5, アルカリ水は9.5であった。硬度は浄水35.7, 酸性水32.2, アルカリ水36.6であった。

表2 使用した電解水のpHおよび硬度

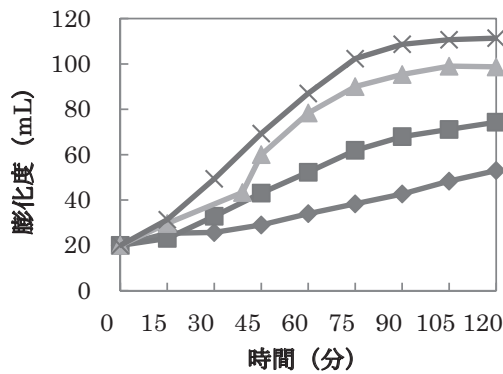
試 料	pH	硬度
浄 水	7.30 ± 0.09	35.7 ± 0.6
酸性水	6.49 ± 0.04	32.2 ± 0.9
アルカリ水	9.53 ± 0.09	36.6 ± 0.4

### (2) 米粉パン生地の膨化度

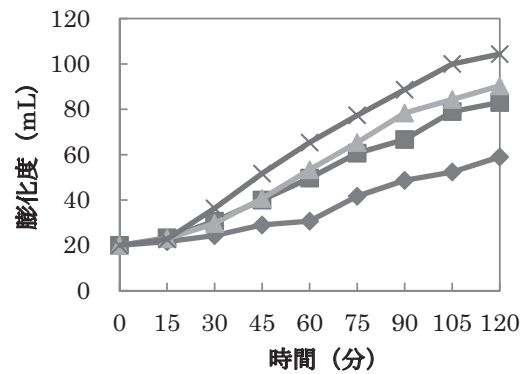
#### 1) 温度の影響

浄水を用いて米粉パン生地を調製し, 各温度(25℃, 30℃, 35℃, 40℃)で一次発酵させた際の膨化度を図1(a)～(e)に示す。各加水量における膨化度の結果を比較すると, いずれの加水量においても発酵温度が高いほど膨化度が高かった。同様の傾向は酸性水およびアルカリ水を用いて調製した生地においてもみられた(図2(a)～(e), 図3(a)～(e))。

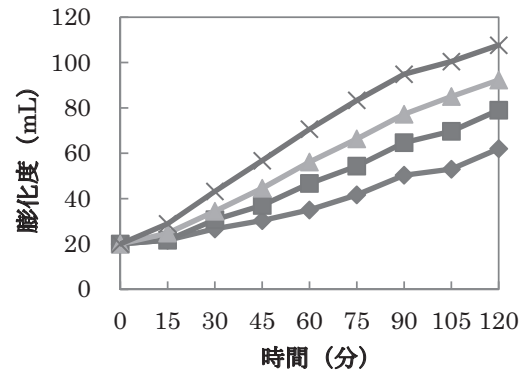
(a)加水量 70%



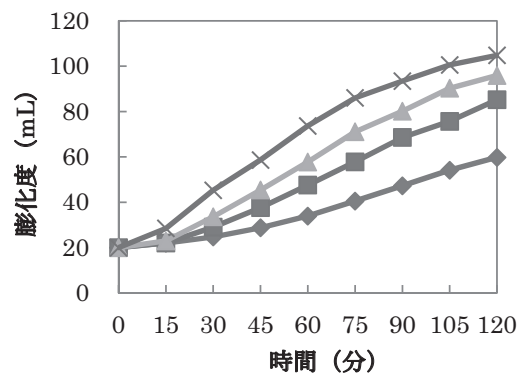
(b)加水量 80%



(c)加水量 90%



(d)加水量 100%



(e)加水量 110%

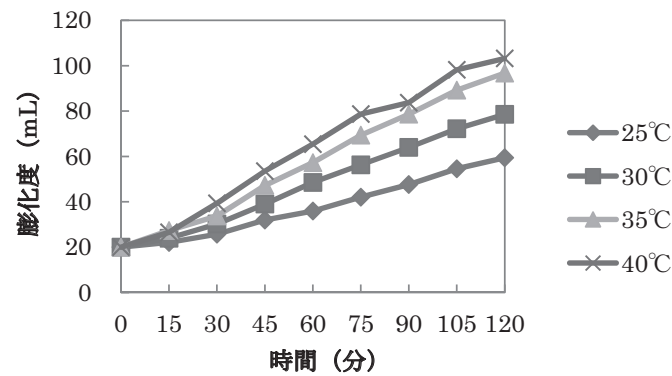
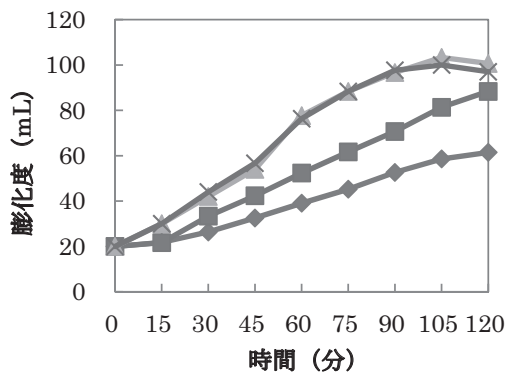
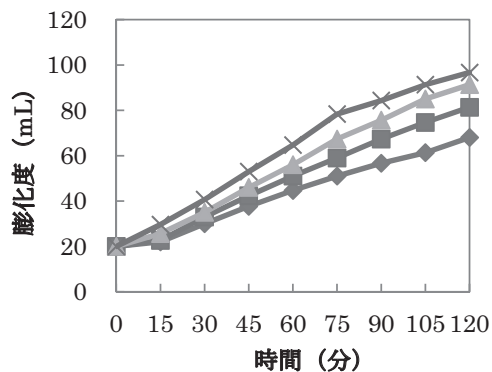


図1 浄水を用いて調製した米粉パン生地の各加水量における膨化度

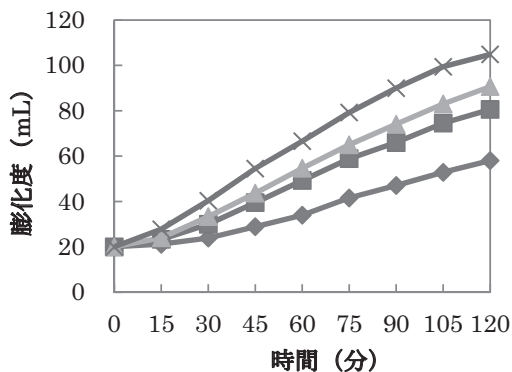
(a)加水量 70%



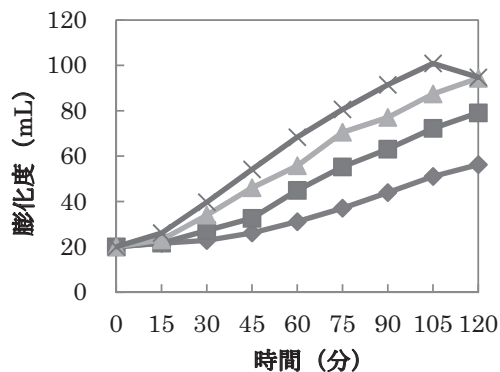
(b)加水量 80%



(c)加水量 90%



(d)加水量 100%



(e)加水量 110%

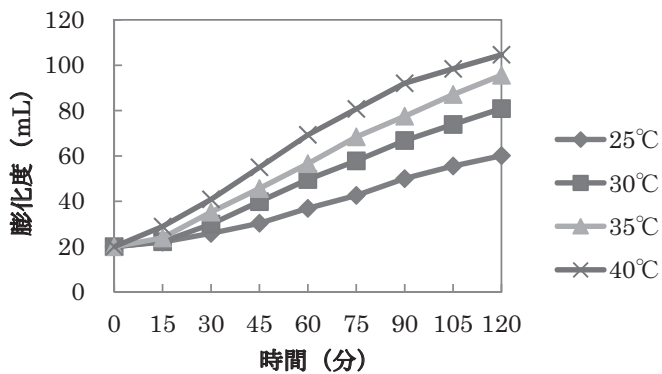
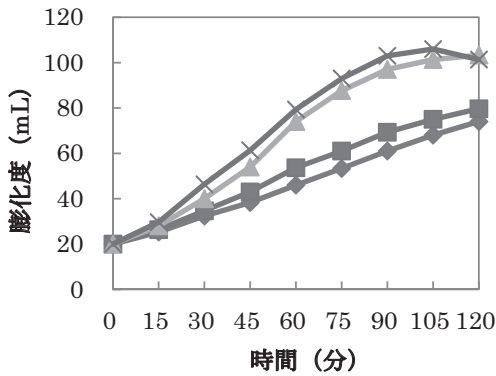
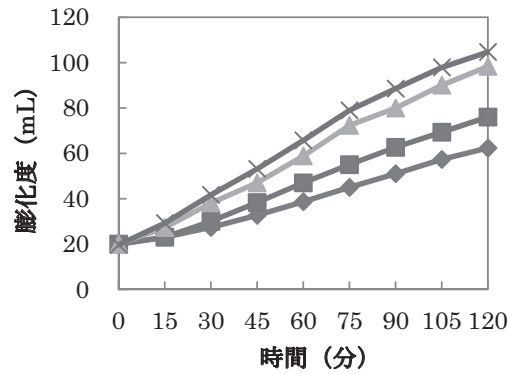


図2 酸性水を用いて調製した米粉パン生地の各加水量における膨化度

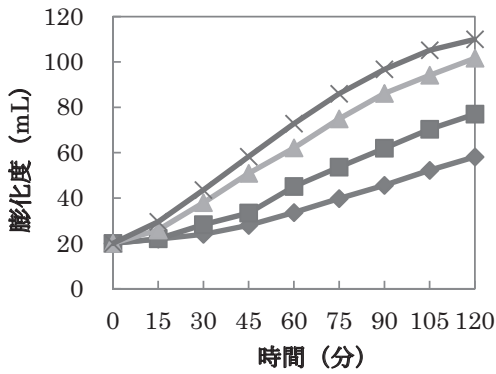
(a) 加水量 70%



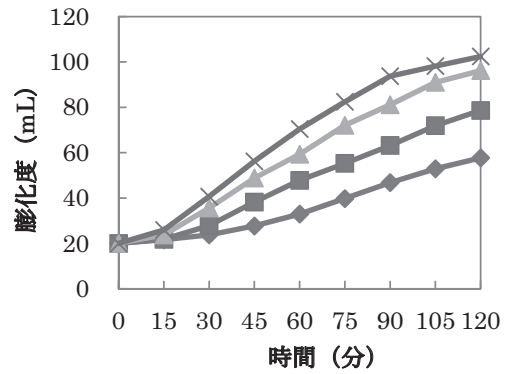
(b) 加水量 80%



(c) 加水量 90%



(d) 加水量 100%



(e) 加水量 110%

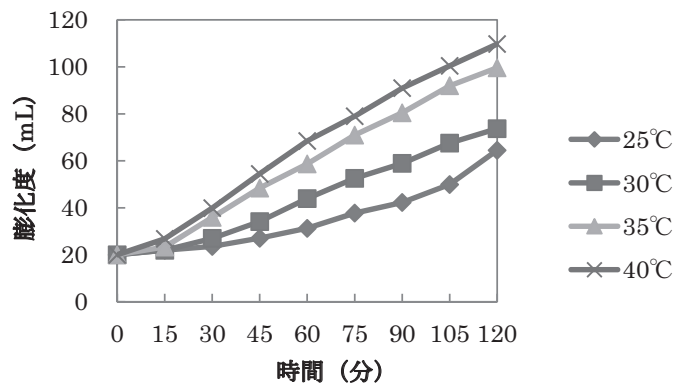


図3 アルカリ水を用いて調製した米粉パン生地の各加水量における膨化度

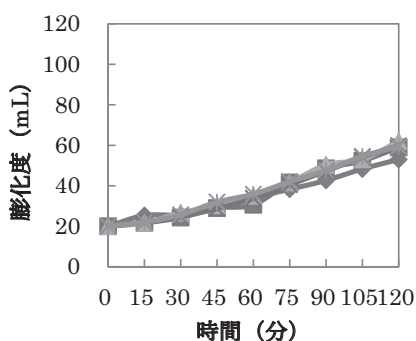
## 2) 加水量の影響

各温度で加水量の影響を比較した結果を図4～6に示す。

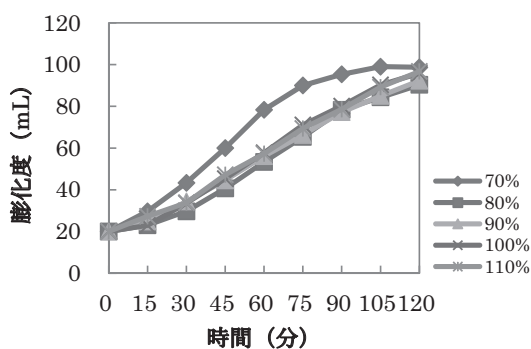
浄水を用いて調製した米粉パン生地は、25℃および30℃では違いはほとんどみられなかつ

たが、35℃および40℃では加水量70%の時に短時間で著しい膨化がみられた(図4(a)～(d))。酸性水では35℃で、アルカリ水ではいずれの温度においても加水量70%の生地の膨化が早い傾向にあった。

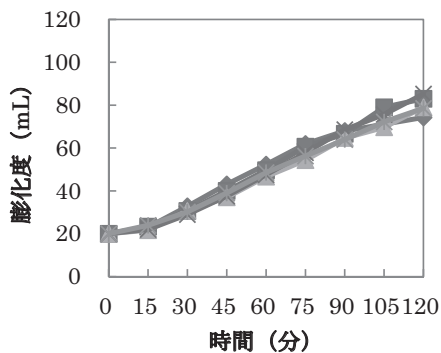
(a)25℃



(c)35℃



(b)30℃



(d)40℃

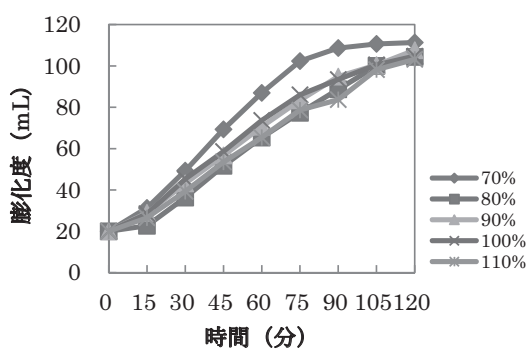
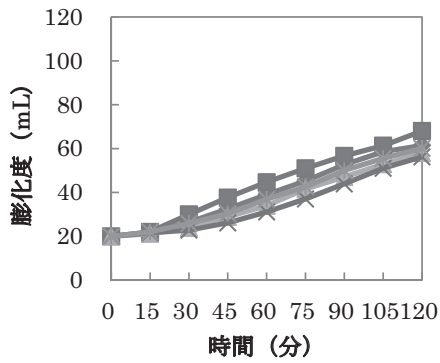
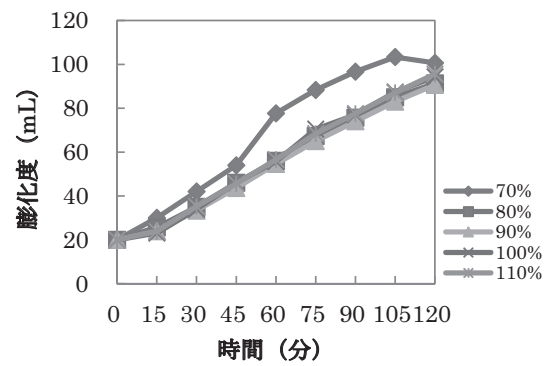


図4 浄水を用いて調製した米粉パン生地の各温度における膨化度

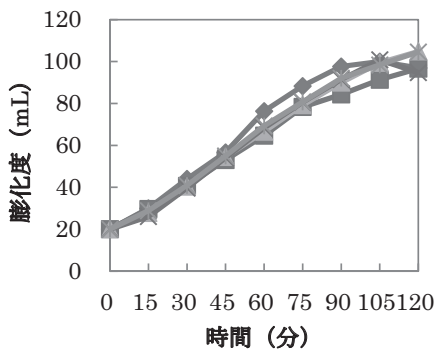
(a)25℃



(c)35℃



(b)30℃



(d)40℃

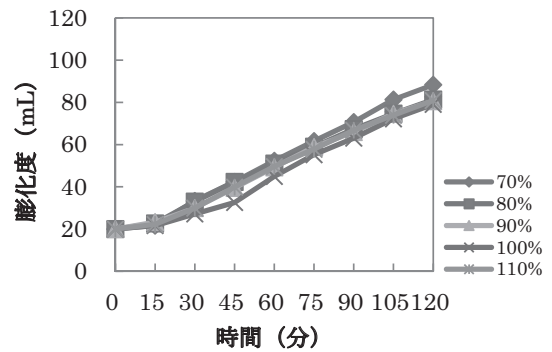


図5 酸性水を用いて調製した米粉パン生地の各温度における膨化度

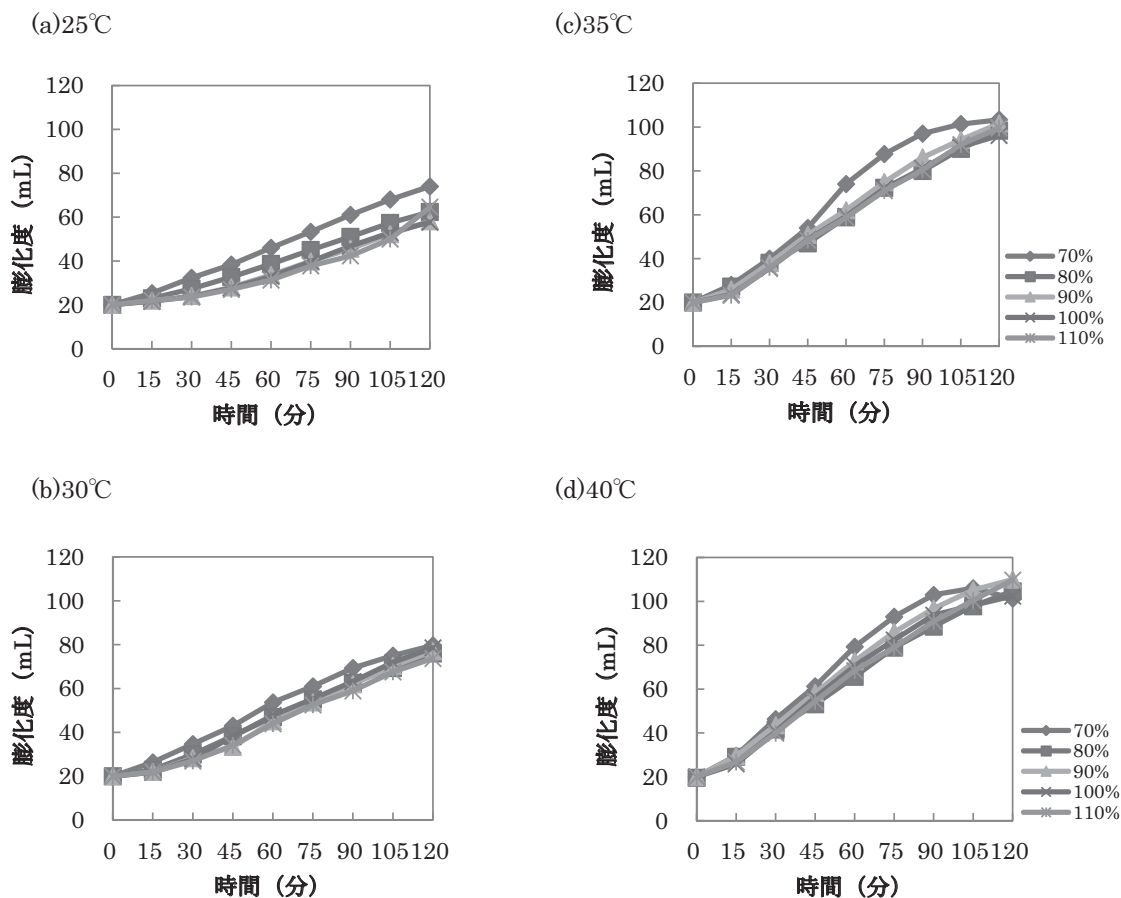


図6 アルカリ水を用いて調製した米粉パン生地各温度における膨化度

### 3) 電解水の影響

3種の異なる水で調製した際の膨化度を比較した場合、発酵温度25℃、加水量70%および80%において、酸性水とアルカリ水の膨化度が浄水より若干高かった。米粉パンの焼成に最も適する加水量90%で比較した場合(図7)、発酵温度25℃ではいずれの水を用いても膨化度に差はみられなかった。一方、発酵温度40℃では、浄水を使用した生地において

15分後以降から著しく膨化が進んでいた。しかし、120分後には浄水とアルカリ水を使用した生地の膨化度はほぼ等しく、使用する水により膨化の進み方が異なることが分かった。酸性水を使用した生地では膨化の進行も遅く、膨化度も他の水に比べて低いことが分かった。

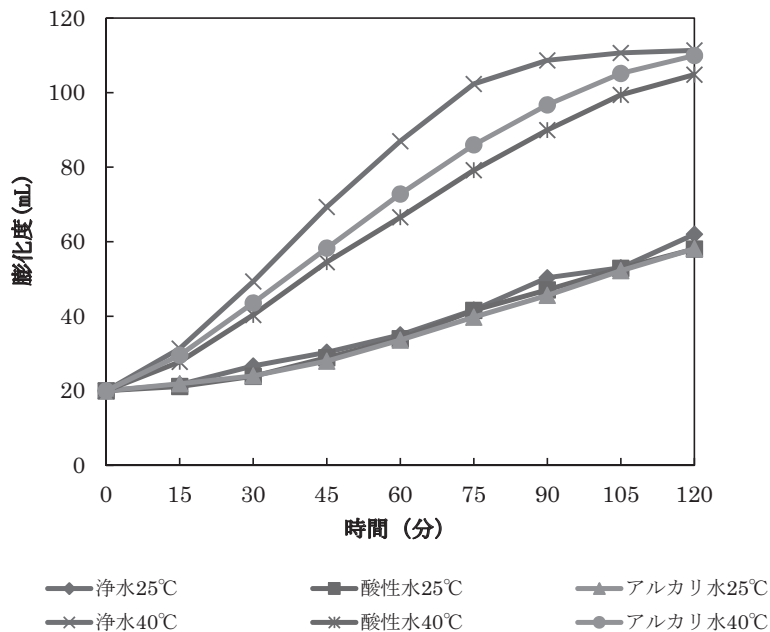


図7 異なる水を用いて調製した加水量90%の米粉パン生地の膨化度

### (3) 米粉パンの官能評価

水の種類の違いによって、米粉パンの外観や食味にどのような影響を与えるかについて調べた(図8, 9)。官能評価はいずれも浄水で調製した米粉パンを基準として比較している。

図8に示すように、酸性水で調製した米粉パンでは外相の色は有意に好まれたが、内相のきめや硬さは

などの食感は有意に好まれなかった。また、アルカリ水で調製した米粉パンでは、浄水で調製した米粉パンに比べて内相のきめ、食感、風味、総合評価において好まれなかった(図9)。したがって、酸性水やアルカリ水で調製した米粉パンよりも浄水で調製した米粉パンが最も好まれることが分かった。

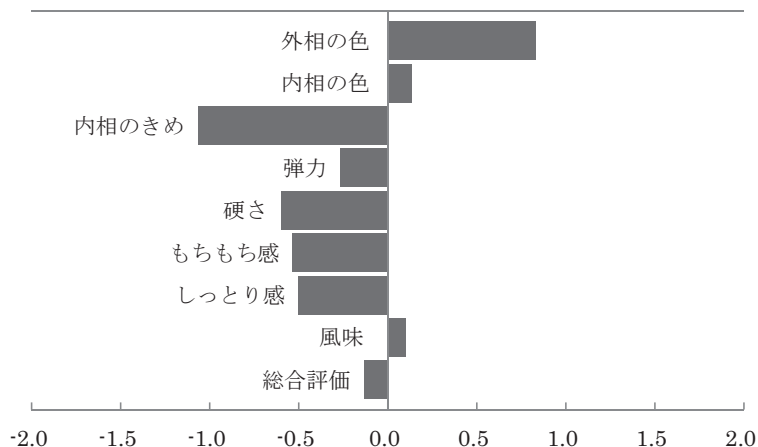


図8 酸性水で調製した米粉パンの官能評価結果

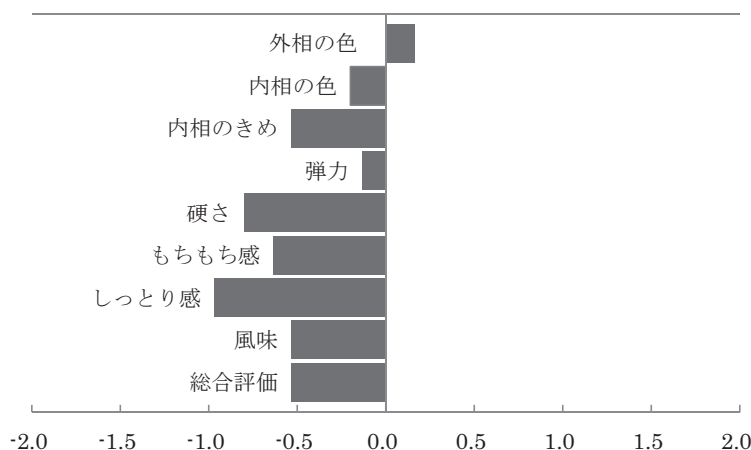


図9 アルカリ水で調製した米粉パンの官能評価結果

#### 4. 考 察

機能水は、業務用として加工や殺菌<sup>10,11)</sup>、調理に広く用いられている。本研究では米粉パンの製造過程における電解水の効果を明らかにし、米粉食品の調理加工用途に適した水を提案することを目指して、電解水の使用が米粉パン生地膨化（発酵）と食味に及ぼす影響について検討した。

これまでに、製粉方法の異なる米粉を用いた生地の発酵に関する研究<sup>14)</sup>や適正加水量に関する研究<sup>15)</sup>はみられるが、HPMCを増粘剤とする米粉を100%使用したグルテンフリー米粉パン生地の発酵に関する研究はなく、本研究において加水量、発酵温度および水の種類と膨化の経時変化を示すことができた。その中で、発酵温度を25～40℃の4段階に設定して比較したところ、発酵温度が高いほど膨化の進行が早く、120分後の膨化度も高いことが明らかになった。加水量の影響に関して、岡留ら<sup>14)</sup>は30℃の発酵において水分の多い生地ほど膨化度が高いこと、それぞれの米粉により水分の吸収の仕方が異なることを報告しているが、我々の結果はその逆の傾向にあった。

グルテンフリー米粉パンの製造においては、これまで、加水量90%の生地を2段階の発酵を経て焼成してきた。その際、1次発酵は25℃で50分、2次発酵は36～38℃で30～60分を要している。浄水を用いて加水量90%で調製した生地の50分後の膨化度について比較すると、25℃では約30mL、40℃では約60mLであり、2倍の相違がみられた（図7）。し

たがって、今後は発酵温度を40℃に設定すると1次発酵のみの1段階発酵で焼成が可能になると考えられる。また、図7からわかるように、発酵温度25℃では水の種類による膨化度の相違はみられなかったが、発酵温度40℃では使用する水により膨化の進み方が異なることも考慮すべきである。

官能評価は従来の2段階発酵法で調製した米粉パンを用いて比較した。浄水で調製した米粉パンより酸性水とアルカリ水で調製した米粉パンでは、外相についてはプラスの評価であったが、総合評価も含めてその他の項目ではほとんどマイナス評価であった。綿貫ら<sup>16)</sup>は、米粉パン製造時の物性に及ぼす電解生成水の影響について報告している。電解生成水（酸性電解水およびアルカリ性電解水）を使用すると、水道水を使用した場合よりパンの膨化性が向上して比容積が増加すること、クラムが軟化すること、官能評価においてもこれらの改変効果が確認されたことを報告している。その要因として、酸性電解水ではタンパク質の溶解性の変化、アルカリ性電解水ではでんぷんの糊化特性の変化を指摘している。綿貫らの研究はグルテンを添加した米粉を使用しており、本研究の米粉100%の生地とはタンパク質およびでんぷんの組成が異なる。また、使用している電解生成水は、pH3.5とpH10.3の電解水である。本実験で使用したアルカリ水はpH9.5の弱アルカリ性であったが、酸性水は浄水に比べてややpHの低いpH6.5の微酸性であった。そのため、特に酸性水の効果が現れにくかったとも考えられる。

電解水としての飲用・殺菌に効果がある水であっ

でも、種々の工程を経て製造される米粉パンではその効果を見出すことは難しいと思われるが、今後、米粉100%のグルテンフリー米粉パンにおいても、食味の向上と物性に関して、さらに検討していきたい。

## 5. 要 約

グルテンフリー米粉パンの製造において、パン生地の膨化と食味に与える電解水（浄水・酸性水・アルカリ水）の影響について検討し、以下の結果を得た。

- (1) 加水量が同じ場合、いずれの水においても発酵温度が高いほど膨化が早く、120分後の膨化度も高くなった。
- (2) 同じ発酵温度においては、加水量70%の生地の膨化に早い傾向がみられた。
- (3) パンの焼成に最も適する加水量90%で比較した場合、25℃ではいずれの水を用いても膨化度に差はみられなかったが、40℃では水の種類により膨化の進み方が異なることが明らかになった。
- (4) 焼成した米粉パンの官能評価では、酸性水やアルカリ水で調製した米粉パンよりも浄水で調製した米粉パンが好まれた。

## 謝 辞

本研究は、JSPS科研費（24700799）の助成を受けて実施したものである。

本研究の遂行にあたり、アルカリイオン整水器をご提供下さりました(株)OSGコーポレーション竹内正浩氏、測定に協力いただいた卒論生の渡邊 優氏、官能評価に協力いただいた教育学部の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) 吉井洋一, 本間紀之, 赤石隆一郎:新潟県における米粉・米粉麺への取り組み, 日食工誌, 58(5), 187-195 (2011)
- (2) 奥座宏一, 岡部繭子, 島 純:米粉利用の現状と課題－米粉パンについて－, 日食工誌, 55(10), 444-454 (2008)
- (3) 庄子真樹, 羽生幸弘, 毛利哲, 畑中咲子, 池田正明, 富樫千之, 藤井智幸:製粉方法の異なる米粉の粉体特性と吸水特性の評価, 日食工誌, 59(4), 192-198 (2012)
- (4) 香西みどり:『水と調理のいろいろ－調理で水の特性を感じる－』, 光生館 (2013)

- (5) 岩元睦夫:話題の「機能水」の現状と課題, 日調科誌, 33(4), 503-509 (2000)
- (6) Shirahata S., Hamasaki T. and Teruya K.: Advanced research on the health benefit of reduced water, Trends in Food Science & Technology 23, 124-131 (2012)
- (7) Tashiro H., Kitahora T., Fujiyama Y. and Banba T.: Clinical evaluation of alkali-ionized water for chronic diarrhea placebocontrolled double-blind study, Digestion & Absorption, 23, 52-56 (2000)
- (8) Henry M. and Chambron J.: Physico-chemical biological and therapeutic characteristics of electrolyzed reduced alkaline water (ERAW), Water 5, 2094-2115 (2013)
- (9) 数野千恵子:水と調理, 食品・食品添加物研究誌 (FFIジャーナル), 214(4), 402-410 (2009)
- (10) 小関成樹, 伊藤和彦:カット野菜の電解水殺菌における強アルカリ性電解水の前処理効果, 日食工誌, 47(12), 907-913 (2000)
- (11) 吉田恭一郎, 阿知波信夫, 片寄政彦, 小関成樹, 五十部誠一郎, 阿部一博:カットネギ製造現場における電解水処理の効果, 日食工誌, 52(6), 273-277 (2005)
- (12) 村上俊男, 池内ますみ, 稲田吉昭, 小垂眞, 吉川秀樹:『基礎からの食品・栄養学実験』, 33-34, 建帛社 (2007)
- (13) 日本イースト工業会:パン用酵母試験法, 1-4 (1996)
- (14) 岡留美穂, 林好子, 中川和秀, 大野信子:米粉調製法が生地の発酵と製パンに及ぼす影響, 和洋女子大学紀要第48集 (家政系編), 45-54 (2008)
- (15) 奥西智哉, 中村健治, 宮本守, 宮下香苗:米粉パン製造の適正加水量決定方法, 日食工誌, 59(8), 409-413 (2012)
- (16) 綿貫重紀, 原安夫, 新井映子:米粉パン製造時の物性に及ぼす電解生成水の影響, 日調科誌, 37(4), 352-359 (2004)