

# 製パンに関する研究（第二報）

—低温発酵について—

大金裕子・高橋久美子・奥村美代子

## I 緒 言

イーストの最適発酵温度は30℃前後であるが、最近冷蔵庫を用いて低温発酵による製パン法が手軽に行われている。

低温発酵法は、パン生地をポリ袋に入れて密封し、低温で発酵が進む過程での圧力によってイーストの働きを促進させ、グルテンの力を強めてゆくのであるが、やはり、その発酵は低温のために多少阻害されていると考えられる。

前報<sup>1)</sup>において、著者らはパン生地の低温中におけるイーストの生態を温度別、経時的に検討した結果、1次発酵でのイーストの生態より以上に、2次発酵におけるイーストの生態、すなわち、出芽・増殖状況および細胞の巨大化の傾向とその密度の示す過程が、製品に大きな影響を与えていることを知った。そこで今回は、1次発酵温度5℃、2次発酵時間50分におき、2次発酵の温度条件を変えることにより製品に与える影響を検討するとともに、ベンチタイムの有無、混捏状態についても合わせて検討したので、その結果を報告する。

## II 実験材料及び実験方法

### 1 実験材料及び配合割合

本実験のために使用した材料及びその配合割合は下表のとおりである。

### 2 実験器具

前報と同様の器具を使用した。

### 3 実験方法

#### 1) 供試材料

##### i 低温発酵パン

1項で配合された実験材料をメンパン機で10分・最終生地温度31℃に混捏したのち、ポリ袋に入れて密封し、5℃の冷蔵庫内で1次発酵を行った。庫内生地温度については、5℃に達するのに7時間を要している。これを経時的に取り出し、ガス抜きめん棒でガス抜きしたのち、2次発酵時間を50分に一定し発酵温度を、30・40・50℃に設定し、ガス超高速レンジ、170℃・40分で培焼した。

前報においては低温発酵パンの混捏は混ぜ合わせる程度でよいという文献<sup>2)</sup>にもとづき、1.5分混捏にして実験を進めたが、さらに今回は混捏状態が製品にどのような影響を与えるかを検討するために、生地がザツと1つにまとまる状態になるまで1.5分・最終生地温度29℃に混捏し、(以下A生地と称する)、生地がな

	材料名	メーカ	使用量	小麦粉に対する百分比
製 パ ン 素 材	小麦粉	日清製粉KK カメラヤ強力粉	300g	100
	イースト	オリエンタル酵母工業KK 顆粒状ドライ	4.5g	1.5
	砂糖	台糖KK グラニュー糖	15g	5
	油脂	南日本酪農協同KK 無塩高千穂バター	9g	3
	食塩	日本専売公社 塩化ナトリウム99%以上	6g	2
	水	水道水 (30℃温湯)	165ml	55

めらかな弾力のあるのびのよい状態になるまで10分・最終生地温度31℃に混捏した。(以下B生地と称する)以上の2種の混捏法により、2次発酵温度40℃・発酵時間50分で上記と同様に培焼した。

更に、ベンチタイムの有無による製品の影響を知るために、いずれの条件においても、ガス抜き後、ベンチタイムを15分設定し、その有無を比較した。

#### ii 常温発酵パン

i項の実験結果と比較するため、実験材料をメンパン機で10分・最終生地温度31℃に混捏したのち、32℃・60分の1次発酵とガス抜き後、ベンチタイムを15分とり、35℃・50分の2次発酵を経て、170℃・40分で培焼した。

### 2) 測定方法

#### i 膨化率

前報と同様に算出した。

#### ii 比容積

前報と同様に算出した。

#### iii テクスチャー特性値

レオロメーター(感度電圧2V, 運動速度12サイクル/分)を用いて、硬さ・凝集性を測定した。供試材料片は40mm×40mm×13mmとし、プランジャー18mmに対して、クリアランス2mmの水準で測定した。

#### iv 官能検査

前報と同様に評価した。

#### v 検鏡

組織の検鏡については、常法<sup>3・4)</sup>に従い、ホルマリン緩衝液で固定してパラフィン切片を得た後、たんぱく質検出のためにアクロレイン-シフ液、多糖類検出にはPAS(過ヨード酸-シフ)液で染色し、光学顕微鏡で観察した。

## III 実験結果および考察

### 1 膨化

図1に示すとおり、1次発酵温度5℃に一定した1次発酵時間の経過と、2次発酵時間を50分に一定した2次発酵温度の組合わせによる膨化の状況は、1次発酵後においては、ベンチタイム有が15時間まで高い値を示し、25時間以後は、その有無に差はみられない。2次発酵後は、発酵温度50℃が10時間で最大値に達し、それ以後わずかながら下りはじめ、さらに25時間以後の急降下では、30・40℃において著しい傾向がみられる。温度間による差は、30℃が特に25時間までや、低い膨化状況にある。ベンチタイムの有無による差は、50℃・20時間までに見られる程度で、1次発酵後ほど

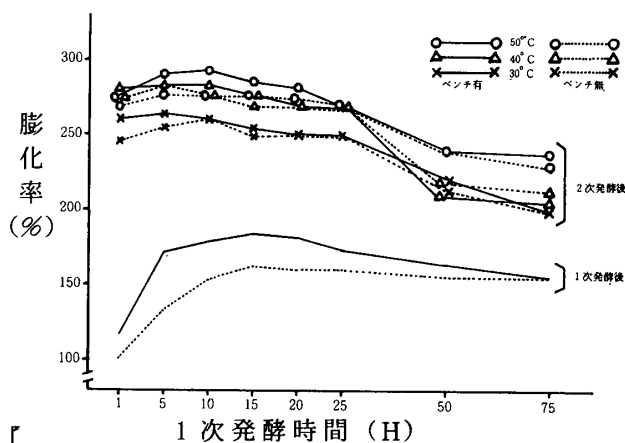


図1 1次発酵時間・2次発酵温度と膨化状況

の差は出ていない。

### 2 比容

図2に示すとおり、2次発酵温度が焼上製品にどのような影響をおよぼすかを知るために、その容積と重量を測定した結果は、2次発酵の温度にかかわらず、経時的には1~5時間で高い比容値を示しているが、これは庫内生地温度が5℃に達しなかったため、結果的に高い比容値が出たものと思われる。庫内生地温度が5℃に達した7時間から25時間までは横這い状況が続き、それ以後は大きく降下して膨らみのない製品となっている。2次発酵の温度間の差においては、25時間までは50℃が高い比容値を示しているが、50時間からは大差がない。ベンチタイムの有無による差は、ベンチタイム有30℃とベンチタイム無50℃の値が近似しており、低温発酵の場合においてもやはり生地を休ませる必要があると思われる。

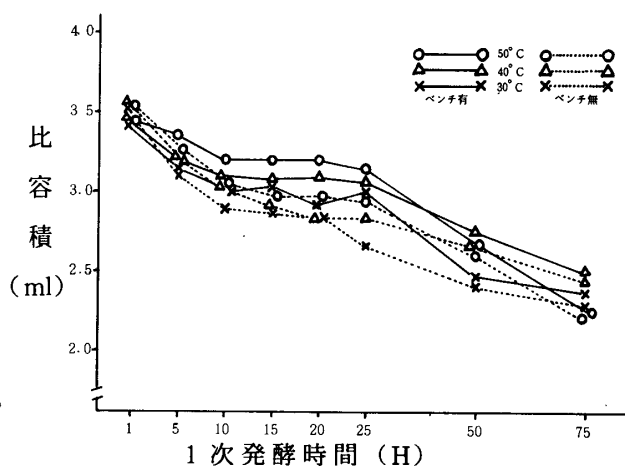


図2 1次発酵時間・2次発酵温度と製品の容積

### 3 テクスチャー特性

#### 1) 硬さ

図3に示すとおり、焼上製品を24時間室温に放置後、機器により硬さを測定した結果は、いずれの温度についても、経時的に硬くなっていく傾向が出ており、25時間まで50°Cが他を引き離してやわらかい製品を得ているが、50時間以後はすべての製品がほぼ同じ硬さになって来ている。これは、膨化、比容の場合にみられた結果と共通しており、発酵の完了は、ドウが最高のガス保持力と最高の弾性をもつ段階に達したときであるが、その極限をすぎるとパン生地の弾性部分が収縮し、変形された部分のみが残って、同じ測定値としてあらわれて来たものと考察される。

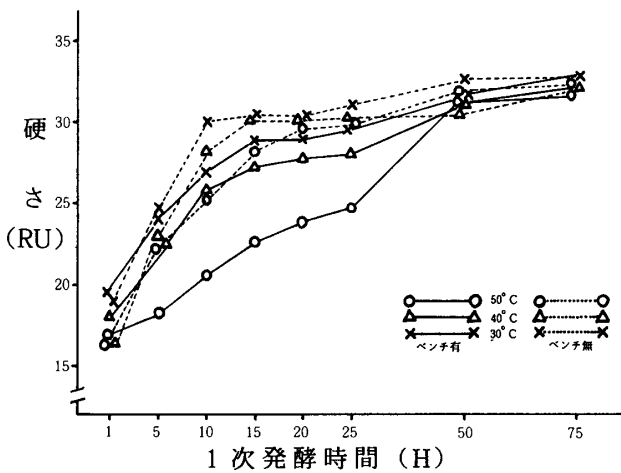


図3 1次発酵時間・2次発酵温度と硬さ

## 2) 凝集性

プランジャーの繰返し加歪に対する変形比の凝集性は、図4に示すとおり、温度間においては経時的には全く同じ傾向を示している。

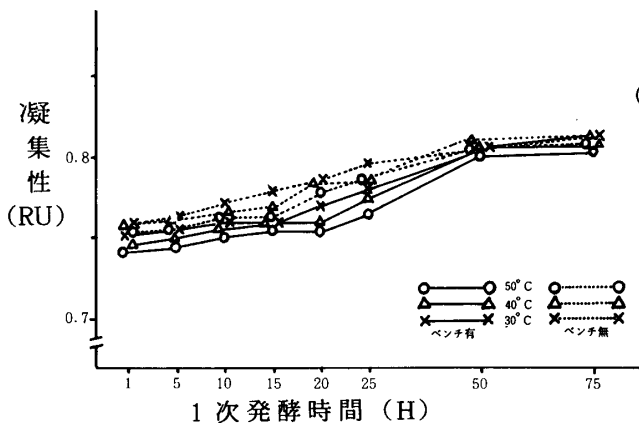


図4 1次発酵時間・2次発酵温度と変形比

パンにおける凝集性の標準的測定値として、市販のパンおよび常温発酵パンについて求めた値、即ち市販パン・0.73 RU、常温発酵パン・0.74 RUから見て、50°Cがそれに近似しており、製品としてすぐれている。

ついで40°C、30°Cの順になっているが、経時的に見ると、20時間から凝集性は漸次高くなり、50時間以後は横這いとなって製パン内部の結合力が大きくなっていく傾向が出ており、製品として好ましくない結果になっている。

## 4 混捏の影響

低温発酵の場合は生地を混ぜ合わせる程度であまり混捏しない方がよい<sup>5)</sup>という報告と、標準製法と同様の混捏状態にした方がよい<sup>6)</sup>という2通りの報告がある。

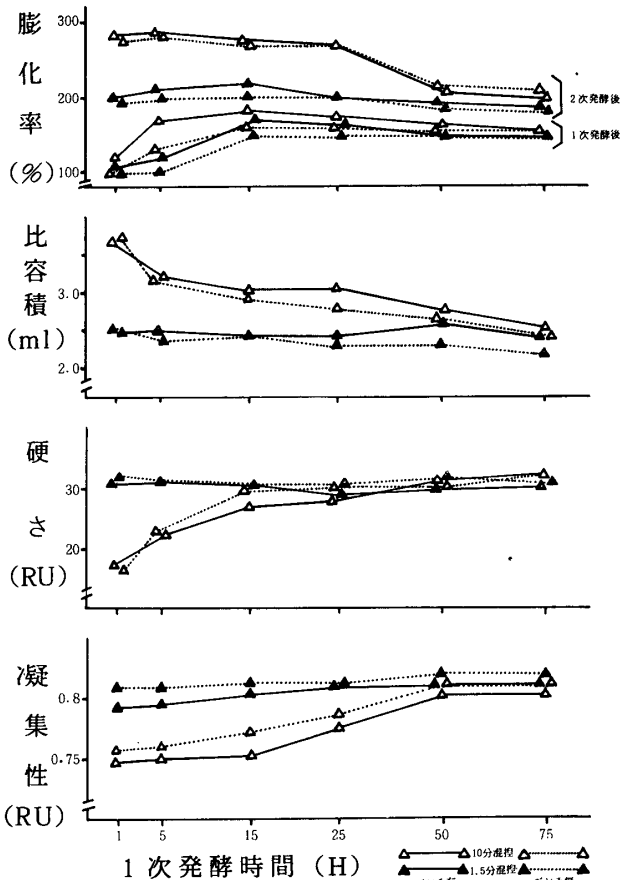


図5 混捏状態による製品比較

そこで今回、図5に示す実験を行った。

膨化、比容、硬さ、凝集性において、B生地が1次発酵25時間まで製品としてよい結果を得ているが、それ以後経時的に降下し、1次発酵75時間ではA生地とほぼ同じ結果になって来ている。それに対してA生地は、B生地ほど著しい変化はなくいずれにおいても横這い状況を示し、生地の緩慢な熟成状況を推測することが出来る。

## 5 官能検査

テクスチャーが機械的測定方法により多く利用されている今日でも、口の中での感触によって決定される

物理的性質および味・色・香りは、おいしさの重要な要素である。

今回5名のパネルにより、官能検査IとしてA：常温発酵，B：1次発酵15時間A生地，C：1次発酵15

表 1 官能検査結果

調査項目			試料		I					II		
			評点	A	B	C	D	E	A	B	C	
外 観	体積	10	9.8	4.6	7.8	4.6	7.6	8.0	8.5	9.5		
	表皮の色	8	6.8	4.0	7.2	5.0	7.0	7.7	7.2	6.2		
	形の均等	3	3.0	1.4	1.8	1.2	1.8	1.7	2.5	2.3		
	焼上げ均等	3	2.8	1.4	2.4	1.2	2.0	2.2	2.5	2.3		
	表皮の質	3	2.6	1.0	2.6	1.2	2.2	2.2	2.5	2.5		
	割れ方	3	3.0	1.0	2.4	1.2	2.2	2.2	2.7	2.7		
	小計	30	28.0	13.4	24.2	14.4	22.8	24.0	25.9	25.5		
内 相	す立ち	10	7.6	6.0	9.0	6.2	7.8	8.7	8.7	9.0		
	内部の色	10	9.0	5.2	8.4	5.2	7.2	8.3	8.7	8.7		
	触感	15	13.6	9.0	13.4	10.0	12.8	12.3	13.7	13.7		
	香り	15	13.2	10.4	11.2	13.2	10.0	13.8	13.8	13.8		
	味	20	17.6	12.4	17.0	12.0	15.8	16.2	18.5	17.8		
小計	70	61.0	43.0	59.0	46.6	53.6	59.3	63.4	63.0			
合計			100	89.0	56.4	83.2	61.0	76.4	83.3	89.3	88.5	
百分比				100	63.4	93.5	68.5	85.8	93.3	100	99.1	

表 2 官能検査の分散分析表

要因		I				II			
		平方和	自由度	不偏分散	分散比	平方和	自由度	不偏分散	分散比
外 観	調査項目間	13818.67	5	2763.73	54.33**	12484.45	5	2496.89	95.34**
	条件間	2713.87	4	678.47	13.34**	33.45	2	16.73	0.64
	誤差	1017.33	20	50.87		261.89	10	26.19	
	計	17549.87	29			12779.79	17		
内 相	調査項目間	22523.84	4	5630.96	36.36**	16895.07	4	4223.77	152.92**
	条件間	4813.44	4	1203.36	7.77**	204.40	2	102.20	3.70
	誤差	2477.76	16	154.86		220.93	8	27.62	
	計	29815.04	24			17320.40	14		

$F_{20}^5(0.01)=4.10$   $F_{20}^4(0.01)=4.43$   
 $F_{16}^4(0.01)=4.77$

$F_{10}^5(0.01)=5.64$   $F_{10}^2(0.05)=4.10$   
 $F_8^4(0.01)=7.01$   $F_8^2(0.05)=4.46$

時間B生地, D: 1次発酵50時間A生地, E: 1次発酵50時間B生地の試料で混捏状態と1次発酵時間の相違について検討を行い, 更に官能検査Ⅱとして, A: 30°C, B: 40°C, C: 50°Cの2次発酵温度間についてテストを行った。

表1における混捏の状態については, B生地の方が, A生地に比べてよい製品を得ており, 特に冷蔵時間の短い方が, 内相において常温発酵パンに近い値を得ている。これは物理的測定値と同じ結果であり, 分散分析においても危険率1%水準で有意差を示している。A生地の場合は, 冷蔵時間の長い方が, 短いものより香りの項目で特に上回り, 総合としてよい製品を得ている。

表2に示すとおり, 物理的測定値においてすべての点でよい結果を得ていた2次発酵温度50°Cが, 官能検査Ⅱにおいては, 分散分析を行った結果, その調査項目間では有意差がみられるが, 温度間ではみられず, 官能的には若干であるが40°Cが50°Cを視覚・味覚の点で上回っている。

これら官能検査の結果, 発酵パンの香味は発酵現象と焙焼がおもな要素になっていると考えられている<sup>7)</sup>ことから, 物理的測定値において, すべてによい結果を得ていた50°Cが表皮の色・形・味の点で40°Cに劣ったことは, 高温で2次発酵を行う過程で発酵がよく進み, 発酵生産物, 糖分, たんぱく性物質が, なお高温のオーブン内における焙焼によって揮散または消費されるのではないかと考察される。これに対してA生地の長時間冷蔵が, 香りの項目ですぐれているのは, 吉田ら<sup>5)</sup>の報告にみられるように, 混捏不足が生地の最適状態を長く持続させる傾向がよく出ており, それが焙焼によってなおよく進展されるものと思われる。

以上の結果から, テクスチャーの機器は人間の口腔内の咀嚼の動作をモデル化したものであり, パンのような発酵による複雑な物質は物理的評価による位置づけだけでは危険性を伴うものであると判断される。

#### 6 低温発酵パンと常温発酵パンとの特性比較

機器による物理的性質の結果を, それぞれ常温発酵測定値を100として比較した結果は, 図6に示すとおり, 低温発酵パンはすべての特性値で常温発酵パンに上回るものではなく製品としては劣っている。しかしその中において, B生地の低温発酵パンは, 凝集性, 膨化において常温発酵パンに近いものが得られている。A生地は凝集性を除き, すべての特性値において常温発酵パンよりはるかに下回るが, 経時的にみたとき, 膨化を除いてはやゝ上昇しており, 生地最適状態の

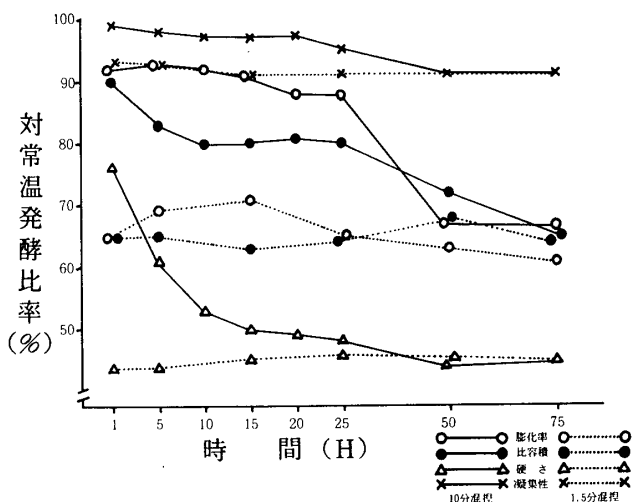


図6 常温発酵に対する試験特性の傾向

持続をみることが出来る。

#### 7 検鏡

図7に示すとおり, 混捏による相違を組織中で観察した結果は, PAS染色におけるA生地のでんぷん粒<sup>8)</sup>では層状構造及び形成中心hilumをみることが出来る。B生地においては, 小麦特有の大小のでんぷん粒がみられるが, でんぷん粒内には空洞が出来ている。これらでんぷん粒は170°Cの高温のオーブン内で膨化 $\alpha$ 化し, A生地の低温発酵パンにみられるように, 形成中心から裂開が生じたり, 常温発酵パンではさらに著しく崩壊, 不定形化している。反対にA生地の低温発酵パンでは, 少しは変形が認められるが, でんぷん粒として確認出来る状態にある。

アクロレイン-シフ染色においては, A生地はグルテン形成は不十分であり, B生地では, 伸展性はないが, グルテン形成が十分に行われており, これが製パンになったとき, 常温発酵パンでは, でんぷん粒を包みこんで, グルテンの網目状組織が非常によく伸展し, 均一したすだちをみせ, 低温発酵パンにやゝ差をつけている。

以上の結果から, A生地における混捏不十分のドウは, 低温で密閉されたポリ袋内で除々に発酵を行い, 物理的測定値でみられた結果と同じく, 生地<sup>9)</sup>の緩慢な熟成状況を推測することが出来る。

#### IV 要約

低温発酵パンにおける2次発酵温度の最適条件, 混捏状態およびベンチタイムの有無について検討した結果は次のように要約される。

1) 製品テストにおける物理的測定値については,

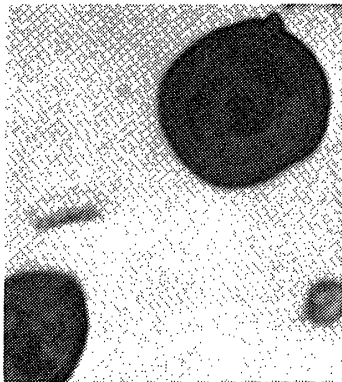
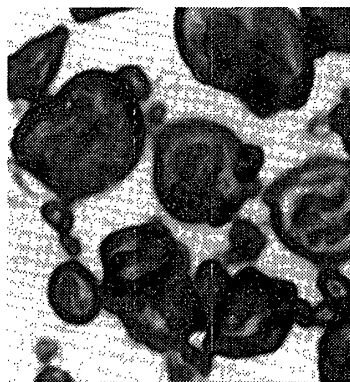
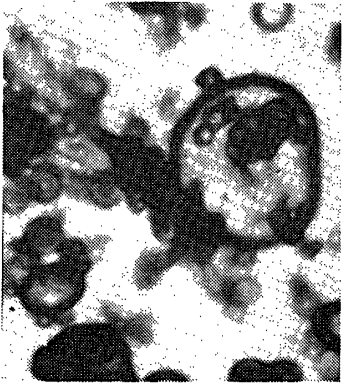
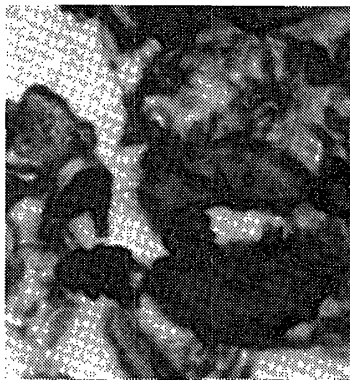
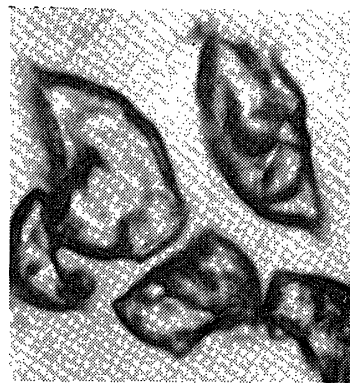


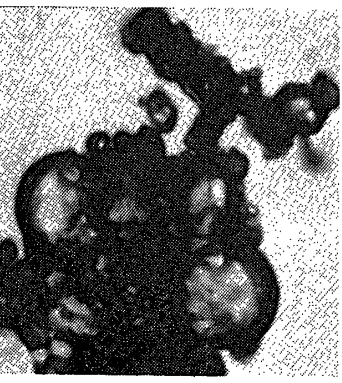


	生地	低温発酵パン	常温発酵パン
A 生地 PAS			
B 生地 PAS			
A 生地 Acr		 (× 300)	
B 生地 Acr		 (× 300)	 (× 300)

図7 混捏による内部組織の状況 (× 600)

2次発酵温度50℃，1次発酵25時間までよい結果を得ている。

2) 官能検査においては，2次発酵温度40℃が50℃よりも表皮の色・形・味においてやゝ上回っている。

3) 1) 2) 項より，低温発酵パンの2次発酵温度は40～50℃と標準製法よりも高温の方がよい結果を得ることが分った。

4) 生地の混捏比較状態については，十分に混捏を行った場合，1次発酵25時間までは良質の製品を得ることが出来るが，それ以後経時的に品質は大きく低下する。

混捏不十分の場合は，物性・官能ともに劣るが，50時間をすぎても品質の低下はみられず，生地の最適状態の持続が長い。

5) ベンチタイムの有無については，ベンチタイム

をとった方がよい結果を得ている。

この報文の大意は，昭和54年日本家政学会関西支部第52回研究発表会において発表したものである。

発表に際し，懇篤なる御助言を賜りました本学高山直子教授に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 大金・高橋・奥村：平安女学院短期大学9，1978
- 2) 食生活：1，1977
- 3) 田中克己・浜清：顕微鏡標本の作り方 裳華房
- 4) 佐野豊：組織学研究法 南山堂
- 5) 吉田レイ・唐沢恵子・小黒純子：家政誌，26，1975
- 6) 庄司一郎・倉沢文夫：家政誌28，1977
- 7) 佐藤友太郎：パン酵母 光琳書院
- 8) 川上いつゑ：デンプンの形態 医歯薬出版