

平成 21 年 5 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007 年度 ～ 2008 年度

課題番号：19500660

研究課題名（和文）小麦アレルギー予防に向けたグルテンフリー米粉パンの製造

研究課題名（英文）Making of gluten free and rice flour breads for prevention of wheat allergy

研究代表者

小谷 スミ子 (ODANI SUMIKO)

新潟大学・人文社会・教育科学系・教授

研究者番号：60018653

研究成果の概要：わが国で発症する小麦アレルギーは成人患者が多く難治性である。そこで小麦アレルギー患者が安心して食べられる米粉パンの製造を試みた。米粉はグルテンを含まないため膨らまずパンの製造は困難である。グルテンフリー米粉パンの製造にクアーガムなど種々の増粘多糖類が試みられているが十分に膨らまず重い食感の製品が多い。今回は新たな増粘多糖類として平成19年（2007）に厚生労働省が用途限定を解除したセルロースの誘導体であるヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMCと略）を選んだ。その結果、材料の種類と配合割合は、米粉に対しHPMC 0.8%、食塩2%、上白糖8%、オリーブオイル5%、ドライイースト1.5%、水90%とし、一次発酵は25℃で50分、二次発酵は36～38℃・85～90%で30～60分そして180℃のガスオーブンで45分焼成する製造条件が適当であった。その時の比容積は一般的な小麦粉食パンの4.0に近い値となった。嗜好調査では、総合的に好まれる傾向が得られた。特に外相の焼き色、内相のやわらかさ、もちもち感は高評価であった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：(1)小麦アレルギー (2) グルテンフリー (3) 米粉パン

(4) ヒドロキシプロピルメチルセルロース (5) 粘度 (6) 物性

(7) テクスチャー (8) 官能検査

1. 研究開始当初の背景

近年、食物アレルギーの増加が大きな社会問題となっておりその対策が急務となっている。三大食物アレルゲンとして卵、牛乳、小麦が挙げられている。卵、牛乳による食物アレルギーでは、多くの場合乳幼児期に発症し成長とともに寛解するが、小麦アレルギーは成人患者が多く難治性である。また、小麦アレルゲンとしてグルテン、 α -アミラーゼインヒビターなどが挙げられる。小麦は主食として、食生活に欠かせないものであり、完全に除去することは困難である。そのため、低アレルゲン化製品の開発が望まれている。

米 *Oryza saliva* は小麦アレルギー患者にとって最も適当な穀類のひとつである。すなわちグルテンを構成しているプロラミン（グリアジン）の分解で生じるペプチドがセリアック病にとって毒として働くが、米粉にはプロラミンが少ないことによる。近年、日本では余剰米の活用や米の消費拡大を目的として米を超微粉末に加工する技術が新潟県農業総合研究所食品研究センターで開発され、各地で学校給食や地産地消の特産品などに米粉パンの導入が試みられている。しかし米粉パン作りには制限がある。それは米たんぱく質が発酵で生成したガスを抱き込むことができないためである。多くの米粉パンは小麦粉から精製した活性グルテンを添加することでパンの膨化を行っているため、小麦アレルギー患者にとって望ましくない食品となる。

そこで、グルテンの代わりにアレルゲンとならない増粘剤として、すでに欧米で使用されているヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC と略）を選んだ。HPMC は、天然繊維から作られるセルロースの誘導体で、ほとんど体内に吸収されない。わが国では保健機能食品のカプセル剤、錠剤用途に限定されているため米粉パンに添加することはできない。しかし本研究が開始する少し前の2007年2月27日に用途限定が解除され食品に広く使えるようになった。HPMC の特徴は熱ゲル化性である。水溶液を加熱するとゲル状態を形成し、冷却すると再び元の水溶液に戻る。この働きでパン焼成中に生地に弾力を与え、均一で強固なガス空間を形成させ、軽くてふっくらとした製品に仕上げることができる。しかし食べる時には流動性が復活し、ゲル状の硬い食感を感じることがない。セルロースは水酸基同士の強い水素結合により水に溶けないが、水素原子の一部をメチル基、ヒドロキシプロピル基などと置き換えることで水素結合を切り離し、水に溶けるセルロース誘導体になっている。また置換基の種類や割合によって様々なタイプの誘導体ができ用途もひろがる。

2. 研究の目的

食物アレルギーの予防および治療では、アレルゲンとなっている食物を除去することが有効な方法である。以下の条件を検討することで小麦アレルゲンを含まない米粉パンの開発を目指す。(1)グルテンフリー米粉パンの製造条件を検討する。(2)卵、牛乳・乳製品および小麦の三大食物アレルゲンを含まないグルテンフリー米粉パンの製造条件を検討する。(3)グルテンフリー米粉パン生地の流動特性を検討することで製品の仕上がりを予測する。小麦アレルゲンを含まない食品の種類を一つでも多く開発することができれば小麦アレルギー患者にとって臨床的意義があるばかりでなく、経済的価値もある商品となると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 材料：グルテンフリー米粉パンでは、主材料として米粉（新潟県産コシヒカリ DK タイプ、新潟製粉㈱）・コーンスターチを、副材料として食塩、上白糖、乳製品（アレルギー対応スキムミルク）、油脂（アレルギー用 A-1 ソフトマーガリン・ボーソー油脂㈱）、ドライイースト（日清スーパーカメリア、日清フーズ㈱）、ヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC、商品名：メトローズ、65SH-4000・90SH-4000、信越化学㈱）および水（ぬるま湯）を用いた。三大食物アレルゲンを含まない米粉パンでは、主材料として米粉を、副材料として食塩、上白糖、エクストラバージン・オリーブオイル（㈱J-オイルミルズ）、ドライイースト、HPMC および水（ぬるま湯）を用いた。

(2) 製造条件：基本的製造方法は、①ドライイースト以外の材料をボールにとり、ぬるま湯に溶かしたドライイーストを加え、ハンドミキサー（DHM-02、AC 100V 80W、ドウシヤ㈱）の中速（目盛3）で約3分攪拌する。②一次発酵を行う。③生地を攪拌し気泡を除き食パン型に流し込む。④二次発酵を行う。⑤予備加熱したガスオーブンで焼成する。⑥パン型から取り出し放冷する。とする。材料の配合割合、生地量、パン型の種類、発酵条件および焼成条件について検討した。

(3) 米粉パンの物性評価：①パンの膨化程度を知るため比容積（ $=\text{体積}(\text{ml})/\text{重量}(\text{g})$ ）を測定した。体積は菜種法を用いた。②焼成後の生地の重量減少率は、 $\langle(\text{生地重量}(\text{g})-\text{焼成後の重量}(\text{g}))/\text{生地重量}(\text{g})\times 100\rangle$ から求めた。③水分は常圧加熱乾燥法（135℃）で測定した。④テクスチャー（かたさ、凝集性、付着性）および破断応力は、卓上型物性測定器（TPU-2S(B)、山電㈱）で測定した。

(4) 米粉パンの官能検査：2点嗜好試験法および5段階評点法による嗜好調査を行った。

(5) 米粉パン生地の粘度測定：①米粉パン生地は主材料とベーキングパウダー以外の副材料をボールに入れハンドミキサーで3分間攪拌して調製した。②生地の粘度をコーンプレート型粘度計 (TVE-22、東機産業株) で測定した。コーンロータは標準および SPP、試験温度は 20℃、サンプル量は 0.4ml、プレヒートは 60 秒とした。PP ロータは、ミゾが入った特殊なロータで 20~50 μ m 程度の粒子を含むペースト状のサンプルや降伏値が大きく、接液部がスベリを生じやすいゲル状のサンプルの測定にも適している。③ずり履歴生データからチクソトロピー特性値 Th 、粘稠性係数 K 、流動性指数 n 、Casson 降伏値 Sc を求め、試料間の差は t 検定により解析した。

4. 研究成果

(1) グルテンフリー米粉パンの製造

米粉でパンを製造する場合、小麦粉から取り出した活性グルテンを添加しないと膨らまない (図 1)。小麦アレルギー患者はアレルギーである小麦グルテンを使用できないため増粘多糖類のヒドロキシプロピルメチルセルロース (HPMC) の添加を試みた。



図 1 活性グルテン添加米粉パン およびグルテンフリー米粉パンの外観

図 1 活性グルテン添加米粉パンおよびグルテンフリー米粉パンの外観

1) 材料と製造方法：材料は表 1 に示した配合割合とし (HPMC は 65SH-4000)、一次発酵は 47℃・湿度 90%・20 分、二次発酵は同温度・同湿度・40~60 分 (生地の上端が 1 斤用食パン型の約 7 割に膨らむまで)、焼成は温度 210℃のガスオーブンで 20 分とすることで比容積の安定した米粉パンの製造が可能となった。

表 1 材料の分量 (1 斤分) と配合割合

材料		分量(g)	割合(%) : 主材料基準	
主材料	米粉	175	100	70
	コーンスターチ	75		30
副材料	食塩	5		2
	上白糖	17.5		7
	スキムミルク	10		4
	A-1ソフトマーガリン	17.5		7
	ドライイースト	4		1.6
	HPMC	4		1.6
水 (約37℃)		190		76

2) 材料の配合割合：表 1 に示す主材料と副材料について配合割合を検討したが、ここで

は米粉と HPMC のみの結果を示す。

①主材料の配合割合：主材料を米粉 100%としたところ膨化が十分でなかったため、コーンスターチを一部置換して検討した。HPMC は 65SH-4000 を 1.6%添加した。置換率の増加に伴い比容積が上昇し、硬さおよび破断応力が低下した (表 2、3)。30%置換でパンらしい内相、柔らかいもちもち感、適度な米の風味となった。それ以上の置換では一般的な小麦粉食パンの比容積 4 以上になったが粉っぽく味気ない米粉パンであった。

表 2 主材料の配合割合を変えて製造した米粉パンの比容積と重量減少率

米粉 (%)	100	90	80	70	60	50	60
コーンスターチ (%)	0	10	20	30	40	50	60
比容積 (mg/ml)	2.74	3.07	3.23	3.94	3.70	3.97	4.36
重量減少率 (%)	9.1	9.1	8.1	10.6	11.6	11.1	13.4

表 3 主材料の配合割合を変えて製造した米粉パンの硬さ、凝集性、破断応力 n=12

米粉 (%)	100	90	80
コーンスターチ (%)	0	10	20
硬さ (x10 ³ Pa)	48.0±10.0	21.4±3.7	20.5±4.6
凝集性	0.55±0.02	0.54±0.02	0.53±0.02
破断応力 (Pa)	238±127	188±48	135±63

米粉 (%)	70	60	50
コーンスターチ (%)	30	40	50
硬さ (x10 ³ Pa)	19.6±4.2	16.9±3.8	15.0±1.6
凝集性	0.51±0.03	0.58±0.04	0.54±0.01
破断応力 (Pa)	140±57	147±55	160±32

②副材料 HPMC の配合割合：主材料の米粉とコーンスターチを 70 : 30 とし、HPMC (65SH-4000) の配合割合を検討した。HPMC 添加率の増加に伴い米粉パンの比容積が上昇し、硬さと破断応力が低下した (表 4、5)。1.6%添加では香りや風味がよく、柔らかいパンとなった。

表 4 HPMC (65SH-4000) 添加割合を変えて製造した米粉パンの比容積と重量減少率の変化 n=12

65SH-4000 (%)	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
比容積 (mg/ml)	2.71	3.04	3.02	3.95	3.94	3.46	3.55
重量減少率 (%)	9.8	8.8	8.3	10.8	10.6	9.1	9.8

表 5 HPMC (65SH-4000) 添加割合を変えて製造した米粉パンの硬さ、凝集性、破断応力

65SH-4000 (%)	0.8	1.0	1.2	1.4
硬さ (x10 ³ Pa)	84.6±21.8	21.3±7.3	20.6±6.8	20.1±5.4
凝集性	0.58±0.03	—	0.49±0.04	—
破断応力 (Pa)	271±34	164±26	144±24	145±44

65SH-4000 (%)	1.6	1.8	2.0
硬さ (x10 ³ Pa)	17.1±7.7	14.3±2.6	12.8±2.5
凝集性	0.52±0.05	—	0.51±0.02
破断応力 (Pa)	124±38	129±29	129±29

3) パン型：HPMC 1.6%添加米粉パンをパウンド型で焼くと上部にひび割れが生じ、パサパサとした食感となった。また内相に大きな空洞が生じた。フタ付き食パン型では内相の空洞が少なく、柔らかい食感となった (図2)。



(a)フタなしのパウンド型で焼いた米粉パン



(b)フタ付きパン型で焼いた米粉パン

図2 パン型の相違による米粉パンの外観と内相

4) HPMCの種類：HPMCは置換基の種類と割合により様々な特性のものができる。今回は65SH-4000と欧米でよく使われている90SH-4000を1.6%添加して違いを検討した。米粉とコーンスターチの比率は70:30とした。65SH-4000添加では、比容積3.22のふっくらとした米粉パンに仕上がったが、90SH-4000添加では、上部が大きく窪み、内相にはたくさんの気泡と大きな空洞が出来た(図3)。食感はパンとは程遠いものであった。65SH-4000は焼成中の生地を保持できるが、90SH-4000は十分でないことがわかる。これは、熱ゲル化温度と熱ゲルの状態が異なることが原因と考えられる(表5)。



HPMC (65SH4000)、比容積 3.22



HPMC (90SH4000)、比容積 2.44

図3 タイプの異なるHPMC添加による米粉パン

表6 HPMCのタイプ別特性

種類	タイプ	2%水溶液の粘度	熱ゲル化温度(°C)	
			T1	T2
MC	SM-100	100	-	-
	SM-4000	4,000	-	約55
HPMC	60SH-4000	4,000	約55	約75
	65SH-4000	4,000	約60	約75
	90SH-4000	4,000	約70	約85

T₁: 粘度低下開始温度(°C)、T₂: 増粘開始温度(°C)

種類	タイプ	熱ゲルの状態	置換基の割合(%)	
			メトキシル基	ヒドロキシプロピル基
MC	SM-100	堅い	27.5-31.5	-
	SM-4000			
HPMC	60SH-4000	比較的柔らか	28-30	7-12
	65SH-4000	比較的柔らか	27-30	4-7.5
	90SH-4000	柔らか	19-24	4-12

(出典: 信越化学工業株)

5) 官能検査 材料の配合割合を表1とし、210°Cで20分間焼成したHPMC

(65SH-4000)添加米粉パンの官能検査を行った。用いた米粉パンの水分は45.5±1.4%

(n=4)と一般的な小麦粉パンの38%に比べて多かった。全評価項目を通して個人差は大きいものの好まれる傾向を得た。特に、色、内相の見た目、柔らかさやもちもち感は高評価が得られた。一方、特有の香りや、しっとり感、口当たりでは特徴のある食感や舌触りを理由に、好き嫌いの個人差が大きく、嫌悪感を抱く人もいた。総合評価はやや好きが多かった。

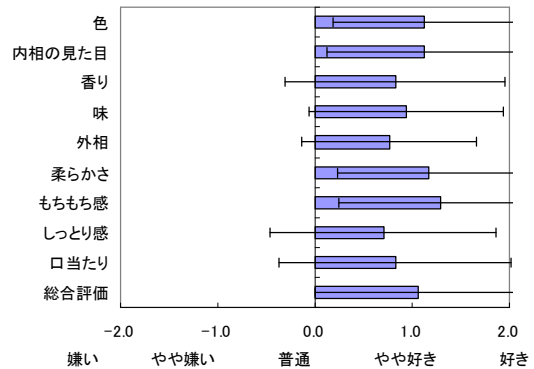


図4 グルテンフリー米粉パンの5段階評価法による嗜好調査(n=17)

試料: 主材料: 米粉70%・コーンスターチ30%、副材料: HPMC(65SH-4000)1.6%、食塩2%、上白糖7%、スキムミルク4%、マーガリン7%、ドライイースト1.6%、水76%)を混合した生地を発酵の後、210°C・20分焼成。その後20°C・1時間放冷した米粉パン。

(2) 三大食物アレルギーを含まないグルテンフリー米粉パンの製造

食物アレルギー患者は複数の食物に反応することが多いことから、三大食物アレルギーの卵、牛乳・乳製品、小麦を含まないHPMC添加米粉パンの製造方法を検討した。また主

材料は米粉 100%とし、HPMC の添加割合を少なくすることを目標とした。その結果、材料の配合割合は、米粉に対し食塩 2%、上白糖 8%、ドライイースト 1.5%、オリーブオイル 5%、HPMC (65SH-4000) 0.8%、水 (ぬるま湯) 90%とし、一次発酵は 25℃で 50 分、二次発酵は 36~38℃・85~90%で 30~60 分間、180℃のガスオーブンで 45 分間焼成する条件が適当であった。その時の比容積は $3.67 \pm 0.15 \text{ ml/g}$ ($n=3$)、テクスチャーの硬さは $30.7 \pm 9.8 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、凝集性は 0.72 ± 0.09 、付着性は $9.0 \pm 6.7 \times 10^2 \text{ J/m}^3$ となった ($n=31$)。

5 段階評点法で嗜好調査を行ったところ、個人差は大きいものの好まれる傾向を得た (図 5)。特に外相の焼き色、内相のやわらかさ、もちもち感はやや好きと高評価であった。これは、米粉パン特有の食感が多くの人に受け入れられる可能性があるといえる。好まれる傾向を示した項目は、触感、香り、味、内相のしっとり感、口当たりと総合評価であり、外相の食感は普通であった。

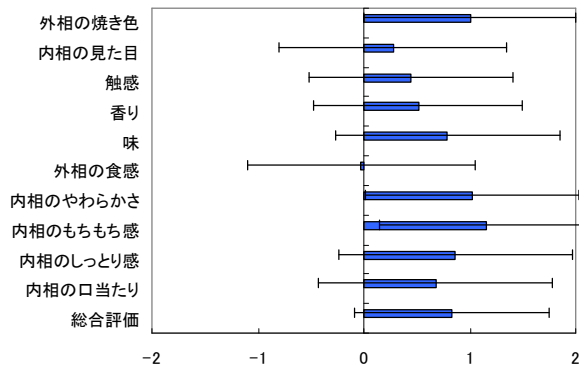


図 5 三大食物アレルギーを含まないグルテンフリー米粉パンの 5 段階評点法による嗜好調査 ($n=43$)

試料: 材料 (米粉 100%、HPMC (65SH-4000) 0.8%、食塩 2%、上白糖 8%、ドライイースト 1.5%、オリーブオイル 5%、水 90%) を混合した生地を発酵の後、180℃・45 分焼成。その後 25℃・26 時間保存した米粉パン。

(3) グルテンフリー・HPMC 添加米粉パン生地の流動特性

HPMC 添加米粉パン生地は水分が多いためドウとはならず流動性のあるバターとなる。このバターは HPMC のため粘性がある。ずり履歴を測定したところ興味深い変化が見られたので、流動特性を示す各種パラメータを求め HPMC の影響を検討した。

1) ずり履歴: HPMC 添加米粉パン生地はロータの回転数を上げると構造破壊が観察された。一方回転数を下げると著しい構造回復が見られた。これは HPMC による極めて興味深い現象と考えられる。

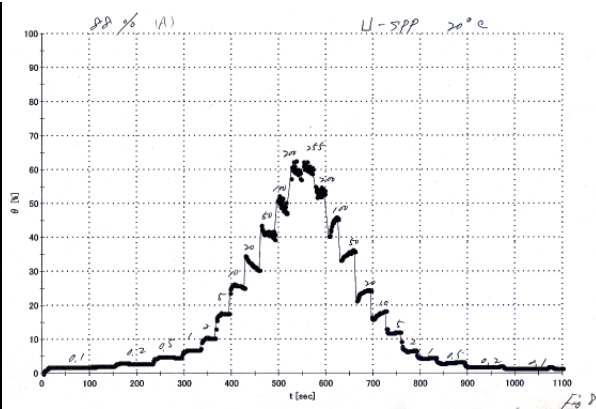


図 6 HPMC 添加米粉パン生地のずり履歴

試料: HPMC 添加米粉パン生地 (主材料: 米粉 70%、コーンスターチ 30%、副材料: HPMC (65SH-4000) 1.6%、食塩 2%、上白糖 7%、スキムミルク 4%、マーガリン 7%、ドライイースト 1.6%、水 88%)、コーンプレート型粘度計 (TVE-22、東機産業株): R-U3[®] × R9.7 ($k_0=150000$, $K_1=30$, $K_2=2$)、20℃、プレヒート時間: 100sec

2) ヒステリシスループ: HPMC 添加濃度を変えて米粉パン生地のヒステリシスループを測定した。HPMC 添加濃度の増加に伴い特徴的なヒステリシスループを示した (図 7)

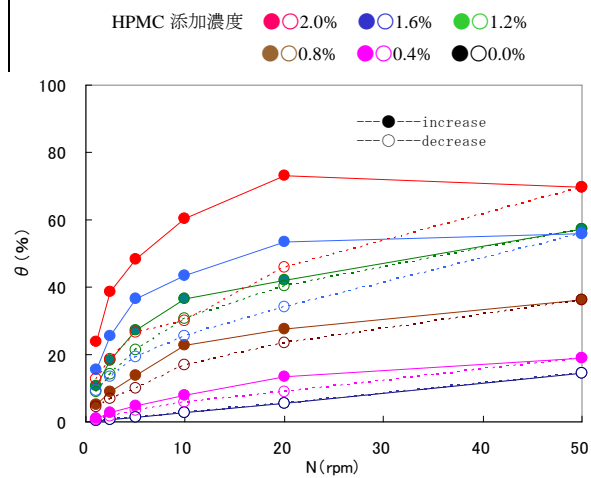


図 7 HPMC 添加米粉パン生地のヒステリシスループ
試料: HPMC 添加米粉パン生地は図 6 と同じ。但し HPMC (65SH-4000) 添加濃度を 0.0~2.0% に変化させた。

3) 米粉パン生地と製品との関係

コーンスターチ添加量、加水量、HPMC 添加量を変化させた生地の粘度と焼き上がった米粉パンの比容積と官能検査の関係を検討した結果、HPMC 添加米粉パン生地はみかけの粘度を $20 \sim 40 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ に調整すると製パン性が良好になることが示唆された。製パン性が良好な HPMC 添加米粉パン生地の流動特性を示すパラメータは、チキン

トロピー特性値 $Th=638\pm 32\%$ ・rpm、粘稠性係数 $K=33.3\pm 4.6\times 10^4\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、流動性指数 $n=0.54\pm 0.03$ 、Casson 降伏値 $Sc=156\pm 10\text{Pa}$ であった。

まとめ

HPMC 添加した米粉パンは、従来の米粉パンの概念を覆す食感の製品となった。小麦アレルギー患者向けに留まらず、多くの消費者が利用できる製品として販路が広まる期待がもてる。嗜好検査では個人差は大きいものの好まれる傾向を得た。製造条件および保存条件をさらに検討することで米の風味が感じられる日本人好みの米粉パンの製造が可能となろう。また、米需要の拡大にも繋がると期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

① 小谷スミ子、ヒドロキシプロピルメチルセルロース添加米粉パン生地流動特性、平成 20 年度 (社) 日本家政学会第 60 回大会、平成 20 年 (2008) 5 月 30 日、日本女子大学・日本家政学会第 60 回大会研究発表要旨集、p.166、2008

② 小谷スミ子、小麦アレルギー患者向けグルテンフリー米粉パン、第 44 回日本小児アレルギー学会、平成 19 年 (2007) 12 月 8 日、名古屋国際会議場・小児アレルギー学会誌、21(4)、p.583、2007

③ 小谷スミ子、ヒドロキシプロピルメチルセルロース添加によるグルテンフリー米粉パンの製造、平成 19 年度 (社) 日本家政学会第 59 回大会、平成 19 年 (2007) 5 月 13 日、長良川国際会議場・日本家政学会第 59 回大会研究発表要旨集、F2-11、p.185、2007

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

①特許願「米粉パン及びその製造方法」

出願年月日 平成 19 年 5 月 11 日

出願番号 特願 2007-127325

整理番号 3677407511

受付番号 50700965099

出願人：有限会社ケン・リッチ

あて先：特許庁長官 中嶋 誠

国際特許分類 A23L 1/06

発明者：小谷 スミ子

国立大学法人新潟大学教育人間科学部内

発明者：水品 賢 有限会社ケン・リッチ内

代理人：牛木 護 弁理士

選任した代理人 吉田 正義 弁理士

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷 スミ子 (ODANI SUMIKO)

新潟大学・人文社会・教育科学系・教授

研究者番号：60018653

(2) 研究分担者

五十嵐 敦子

新潟大学・医歯学系・准教授

研究者番号：90168097

(2008 年度連携協力者)

原 崇

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20323959

(2008 年度連携協力者)