

令和 4 年 9 月 14 日現在

機関番号：35413

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05937

研究課題名(和文) 酵素含浸を用いた咀嚼・嚥下困難者用炊飯米及び穀類加工品の開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on the development of cooked rice and processed grain products for people with difficulty in chewing and swallowing using enzyme impregnation

研究代表者

坂本 宏司 (SAKAMOTO, KOJI)

広島国際大学・健康科学部・教授

研究者番号：80613017

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：介護用炊飯米は加水量を増加させた粥が提供されているが、これらは水分が多く、エネルギーを適正に補給することはできない。そこで、搗精した穀類の水分調整を行うことで、吸水率、吸水速度を高め、粒状の穀類にアミラーゼ等の軟化酵素を浸透させる方法を開発した。これらの方法で酵素を含有させた米、麦は、水で炊飯するだけで、軟らかく粥状の炊飯米、炊飯麦を作製できた。加水量や酵素量を調整することで咀嚼・嚥下困難者レベルの物性に調製できる。本技術は介護食製造に加え、雑穀類の食味改善、食味向上効果にも有効である。作製した酵素含有穀類は、常温で通常の流通ルートを経由して販売できるため、コスト面でも有利である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

介護用の炊飯米やパックご飯は粥状または軟飯状で、米粒の状態では酵素を含有させ軟らかく炊飯米を作製する技術はこれまで研究されていなかった。本技術は、水で炊飯するだけで軟らかい炊飯米に調製でき、加水量も少なくなるなど、在宅や病院等で扱いやすく、エネルギーも補給しやすいなど有用性は高い。これまで、毎日の食事における炊飯米に対する要介護者の「おいしさ」に対する要望は高く、酵素含有米は粥状にもなるが、米粒が残存しており、要介護者のQOL向上に寄与する。

大麦は炊くとバサバサになるが、酵素含有大麦は食べやすく、他の雑穀類にも応用可能である。さらに、常温で米、麦として流通できるため、コスト面でも有利である。

研究成果の概要(英文)：Rice gruel with increased water content is offered as cooked rice for caregivers, but these are high in water content and do not provide adequate energy. Therefore, we developed a method to increase the water absorption rate and speed by adjusting the moisture content of pounded grains, and to infiltrate softening enzymes such as amylase into the grains. Rice and wheat containing enzymes by these methods were able to produce soft, porridge-like cooked rice and cooked wheat simply by cooking rice in water. By adjusting the amount of water added and the amount of enzyme, the physical properties can be prepared to the level of those who have difficulty in chewing and swallowing. This technology is effective not only for nursing care, but also for improving the taste and palatability of minor cereals. The produced enzyme-containing cereals can be sold at room temperature through normal distribution channels, which is also advantageous in terms of cost.

研究分野：食品科学

キーワード：介護用穀類 酵素含有米 酵素含有麦 酵素含浸 軟らかご飯

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

超高齢社会に突入した我が国において、要介護者のQOL(生活の質)向上を目指した介護食市場は急速に拡大している。申請者は食材内に物質を導入する技術である「凍結含浸法」及び「酵素拡散法」を開発した。ペクチナーゼなどの分解酵素含浸を行い、世界で初めて形状保持型介護食を製造する技術開発を行い、事業化を図ってきた。本法で製造された形状保持型の介護食は、従来のさざみ食やミキサー食と異なり、見た目が自然な形状をしている。そのため、要介護者の食欲増進効果は高く、QOL向上に大きく貢献する技術として全国の食品企業や福祉施設に技術導入され、バリアフリー型介護食として高く評価されている。

他方、我が国において米は主食であり、エネルギー獲得の最も重要な食材で、世界的にみても穀類は主食として重要である。咀嚼・嚥下困難者などに用いられる介護食用炊飯米は、通常の炊飯米では硬く、軟飯または粥にして提供している。米に対する加水量を増やすことで様々な硬さを有する粥を調理できるが、粥は健常者用の炊飯米に比べ、同量を食した場合、カロリーが低く、大量に喫食しないと同等のカロリーを補給することはできない。また、食卓の主食が粥というのは生活の質の低下につながり、毎日の食事における炊飯米に対する要介護者の「おいしさ」に対する要望は高い。すなわち、咀嚼・嚥下困難者用の炊飯米には、物性という食べやすさに加え、安全性、そして毎日喫食できる「おいしさ」が必要である。

見た目や味は、健常者用の炊飯米に近く、食べやすい軟らかい物性を有し、エネルギーも通常の喫食量で補給できる炊飯米が望まれている。さらに、米以外の穀類の炊飯加工品(麦や雑穀など)に至っては硬く、介護食はもとより通常の食品としても食べにくい。一方、凍結含浸法などの炊飯米に対する処理法は、煩雑さ、製造コスト、流通上の課題、品質面で現在のところ実用化には至っていない。

### 2. 研究の目的

精白米または搗精後の穀類を原料とし、アミラーゼなどの分解酵素の含浸を行い、その後の炊飯工程において、通常の炊飯と同様の取り扱いが可能な穀類への酵素含浸法を開発する。本研究では、米等穀類への製造・流通コスト、品質、安全面から最適な酵素含浸方法を解明し、その軟化メカニズム、食味について明らかにする。穀類を水に浸漬、調理する際、搗精後の穀類を事前に乾燥することで、水への浸漬時、吸水速度と吸水量が大幅に増加することが予想される。さらに、水分除去した穀類をアミラーゼなどの分解酵素を含浸する加水液で炊飯すると、水浸漬中または炊飯中の温度上昇によってでんぷんの分解反応が進むことで炊飯米を軟化させること予測される。最終的には、原料穀類について、乾燥による除去水分量と同等量の酵素液を米粒内に染み込ませることで、酵素を含浸させた精白米や搗精済みの麦類として流通させることができる。

本研究では、穀類、特に米、大麦への酵素の含浸効果を実証するとともに、加水量と硬さの関係、炊飯品の軟化に必要な各種酵素の含浸効果について、物性と食味の両面からその適正条件を明らかにする。さらに、咀嚼・嚥下困難者レベルの炊飯米の物性調整技術を確認し、老化抑制技術や品温による物性の違い等についても検討する。主食である米の介護食化を推進し、在宅で手軽に購入、調理できる技術が求められる。想定される酵素含浸米または穀類は、水を加水するだけで直ぐに加熱炊飯可能で、簡易に咀嚼・嚥下困難者用炊飯米を調理できるため、在宅介護者や病院等の厨房調理に適した技術と成り得る。

### 3. 研究の方法

(1) 試料 試料として、市販の無洗米(コシヒカリ)を使用した。麦は粒麦(ツインミール、日本精麦(株)製)を使用した。

(2) 酵素は、市販のアミラーゼ2種類を使用した。酵素活性は、キッコーマン社製の $\alpha$ -アミラーゼ測定キットを用いた。

(3) 還元糖の定量はソモギネルソン法、糊化度の測定はグルコーステストワコーIIを使用し、可溶性でんぷん0.2%を37℃で、1分間に1 $\mu$ molのグルコースを生成する量から糊化度を表した。

(4) 乾燥は110℃の乾燥温度で28分乾燥を行い、米から7%の水分を除去した。酵素含浸米の調製方法として、水分除去量と同量の酵素液を米粒に噴霧して、酵素液を米粒に含浸させた酵素含浸米を作製した。

(5) 炊飯はスチームコンベクションオープン(コンビモード)で150℃、30分、または市販の炊飯器を使用した。蓋つきステンレス容器(100×55mm、0.45L)に試料30~50g入れて炊飯した。その時の温度変化は、スチコン(150℃、30分)は10分、炊飯器(アイリスオーヤマ製)は9分で99℃に達した。

(6) 米の物性は、クリープメーター(山電製)を用い、集団粒法により、硬さ、付着性及び凝集性を測定した。試料を直径40mm、高さ15mmの容器に充填し、直径16mmの樹脂性のプランジャーにより、圧縮速度1mm/sec、圧縮率70%で2回圧縮し、その時の応力を測定した。酵素活性は、キッコーマン社製の $\alpha$ -アミラーゼ測定キットを用いた。粘度は、粘度計(アタゴ製)を用い、40rpmに設定した容器に試料を入れ、所定の回転数で測定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 水分調整した無洗米の酵素液による炊飯処理

通常の加工品と同等のエネルギーを保有し、かつ、介護食として有用な物性を付与した穀類の加熱炊飯品を製造するための酵素含浸法について検討した。最初に加熱炊飯を前提に、脱穀後または搗精後の外観形状が保持されている穀類加工品において、酵素活性を有した状態の外部由来の分解酵素を浸透させる方法について、米を対象に実験を行った。市販の精白米の含水率は約14~15%（農林水産省米のカビ汚染防止のための管理ガイドライン）に調整されているが、このままの状態では酵素液を用いて炊飯しても炊飯米は軟化しなかった（図1）。炊飯米の硬さは加水量で変化する（図2）が、元の無洗米に対し、6%以上の水分を除去すると有意に軟化した。すなわち、通常、精白米を酵素液で炊飯しても酵素は中心部まで含浸できていない。精白米の含水率を12%以下に乾燥させると吸水量、吸水速度が急激に上昇し、8.5%（精白米から精白米重量の6%の水分を除去）まで乾燥するとそれらは2倍以上に上昇することがわかった（図3）。米粒の水分を調整することで、米粒表面にひび割れが生じることがわかった。そのため、農水省ガイドラインでは、水分を14%程度に調整することが決められている。そこを敢えてひび割れを起こすことで吸水量、吸水速度を上昇させ酵素含浸効果を高めることができた。米粒のひび割れは炊飯米の損傷に影響するため、酵素濃度や酵素の種類を適正に調整する必要があった。実際、乾燥精白米を0.1%濃度の $\alpha$ -アミラーゼ水溶液に浸漬し、加熱炊飯すると炊飯米は軟化した。米粒が損傷する現象が認められた。

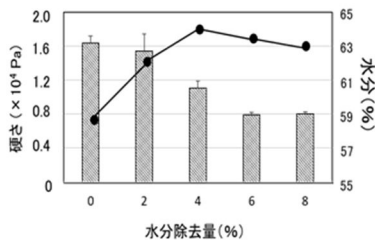


図1 無洗米の酵素含浸に及ぼす事前乾燥の効果

加水量: 米の1.5倍, 20°C  
 酵素:  $\alpha$ -アミラーゼ 0.1%  
 浸漬時間: 30分, 10°C  
 乾燥方法: 熱風 105°C  
 炊飯: 150°C, 30分 (スチームコンベクションオープン)  
 Tukey-Kramerによる多重検定 (n=5)

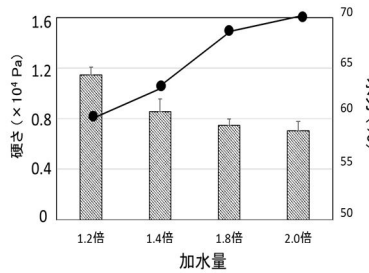


図2 無洗米の酵素含浸に及ぼす加水量の効果

浸漬時間: 30分, 10°C  
 酵素:  $\alpha$ -アミラーゼ 0.1%  
 水分除去量: 8%, 熱風105°C  
 炊飯: 150°C, 30分  
 (スチームコンベクションオープン)

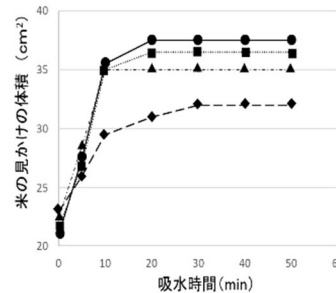


図3 吸水による米の膨潤に及ぼす乾燥の影響

●: 0% ▲: 4% ■: 6% ●: 8%  
 無洗米: 20g

炊飯前の水浸漬は米粒内に水を吸水させる操作と必須とされているが、8.5%まで乾燥させた米粒は吸水速度、吸水量が2倍程度増加するため、炊飯前の水浸漬は数分程度で十分であることがわかった（図4）。乾燥は加熱乾燥、低温真空乾燥、いずれも効果的で、加熱によるでんぷんの糊化（化）処理は必須ではなかった。 $\alpha$ -アミラーゼを含浸させた米を炊飯すると、軟化に伴い米粒が損傷する現象が認められた。また、通常の炊飯米に比べ、甘味、旨味が失われていた。米粒の損傷は、乾燥による米粒のひび割れ、 $\alpha$ -アミラーゼによるでんぷんの分解反応、炊飯過程における水の対流によるものと推察された。また、甘味、旨味の減少は、加熱乾燥工程における米内在酵素であるアミラーゼとプロテアーゼの不活性化により、還元糖、アミノ酸、ペプチドの生成が抑制されたものと推察された。米粒の損傷による崩壊防止方法として、 $\alpha$ -アミラーゼを高温活性タイプに変更することである程度防止できることがわかった。また、 $\alpha$ -アミラーゼの作用による還元糖の生成を促進する方法として、酵素活性領域での通過時間を延長させることが上げられる。実際に、炊飯中の温度上昇において、60~95帯の加温時間を延長させることで、米粒の損傷の抑制、還元糖の増加による甘味の付与を行うことができた。

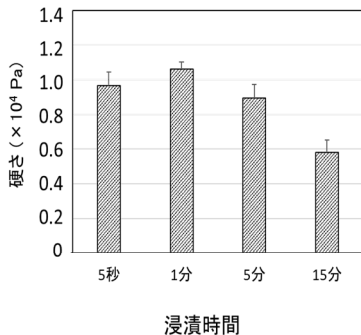


図4 炊飯米の軟化に及ぼす浸漬時間の影響

加水量: 米の1.5倍  
 酵素:  $\alpha$ -アミラーゼ 0.1%  
 水分除去量: 7%, 熱風105°C  
 炊飯: 150°C, 30分  
 (スチームコンベクションオープン)



無洗米 酵素含浸米

図5 米の写真

## (2) 酵素含浸米の調製とその特徴

精白米の含水率を 12%以下、特に 8.5%以下に乾燥させると吸水率、吸水速度が上昇すること、米の軟化には  $\alpha$ -アミラーゼが適しており、乾燥精白米を  $\alpha$ -アミラーゼ水溶液に浸漬し、加熱炊飯すると炊飯米は軟化することがわかった。この研究成果に基づき、無洗米を利用した酵素含浸米の調製を行った。そこで、予め、水分除去量と同量の酵素液を乾燥無洗米に噴霧して、含水率を元の無洗米以下(14%以下)に調製した酵素含浸米を作製した。調製方法として、ステンレス容器に乾燥米を入れ、そこに噴霧器で所定濃度の酵素液( $\alpha$ -アミラーゼ)を噴霧し、5時間程度放置して、酵素含浸米を作製した。この酵素含浸米を炊飯(加水量 1.8 倍、市販の炊飯器)して、食味、物性を測定した。無洗米と乾燥した酵素含浸米を観察すると、酵素含浸米は、白く濁りひび割れが生じていた。 $\alpha$ -アミラーゼ測定キットを用い測定した酵素含浸米の  $\alpha$ -アミラーゼ活性は、0.5%酵素液噴霧で 9.5U/g、2.0%酵素液噴霧で 23.5U/g であり、酵素液濃度に比例して酵素活性は上昇した。酵素濃度 1.5%以上で十分軟化したことと、2.0%酵素液を米重量の 5%噴霧した酵素含浸米は十分軟化したことから、酵素含浸米を作製するには、1.5~2.0%程度の酵素液を米重量の 5%程度噴霧する必要があることが分かった。酵素含浸米における噴霧液の酵素濃度と硬さの関係を見ると、酵素濃度が 1.5%以上になると  $10^3$  Pa オーダーまで軟化することが分かった。0.1%酵素液で炊飯した米と酵素含浸米(2.0%酵素液、噴霧量は米重量の 5%)の炊飯後の硬さを比較する(図6)と、両者とも  $10^3$  Pa オーダーまで軟化した。酵素含浸米の炊飯直後と 70℃、3時間保温後の物性を比較すると、保温により硬さと付着性は上昇したが凝集性は有意な差は認められなかった。酵素含浸米の炊飯後の保温により硬さと付着性が上昇したのは、時間が経過するにつれ炊飯米全体の水分が移動するとともに、ひび割れに伴う米から溶出したでんぷんが接着物質として働いたためであると推察される。米の乾燥は、米粒子内への酵素の含浸効果を高めるが、ひび割れによるでんぷんの溶出を伴う。酵素含浸米の炊飯後の保温による付着性の上昇を改善するためには、加水量と  $\alpha$ -アミラーゼの選択、酵素添加量の検討が必要と考えられた。高温活性タイプの  $\alpha$ -アミラーゼに変えて作成した酵素含浸米の炊飯米は、乾燥米を酵素液で炊飯して軟化させた炊飯米と比較して、米粒の損傷が少なく、食味(甘味)も向上することが明らかとなった。さらに、水浸漬時間が短いほど、炊飯米は軟化しやすいことが判明した。これは水浸漬中に穀粒から酵素が溶出するため、水浸漬時間を長くすると、米粒内の酵素濃度が低下するものと推測された。酵素含浸米を水で炊飯するとき、米粒内に存在する  $\alpha$ -アミラーゼの溶出に伴い、米粒内の酵素活性は、常に変化するものと推測され、浸漬時間、浸漬温度が炊飯米の軟化に及ぼす影響は大きいものと思われる。他方、乾燥した米粒の吸水速度、吸水量は通常の米粒より 2 倍程度高く、そのため水浸漬時間を短くしても良好な炊飯米を調製することが可能であった。

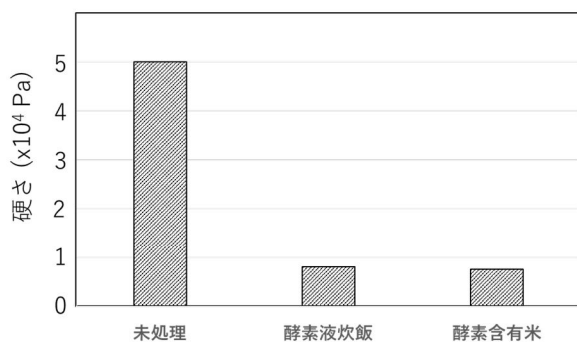


図6 酵素含浸米と酵素液炊飯の比較

米：無洗米、加水量：2倍、酵素： $\alpha$ -アミラーゼ、酵素液：0.1%  
酵素噴霧：2%酵素液



図7 酵素含浸米と無洗米の写真

酵素含有米(左) 無洗米(右)

$\alpha$ -アミラーゼを含浸させた酵素含浸米は、加水量で物性は変化するが、1.8倍~2.0倍の加水量で十分な軟らかさを有する軟らか炊飯米を調製できる。炊飯後の米粒の形状もひび割れは認められるが、米粒の形状は残存している。一方、炊飯すると米粒の損傷によるでんぷんの溶出を伴うため、粘りが強くなる傾向がある。とりわけ、保温(60~70℃)中における粘度上昇は介護食として解決すべきレベルにあった。そこで、保温中の炊飯米の物性変化を抑制する方法として添加酵素剤の配合について検討した。その結果、でんぷんを分解する活性の強い  $\alpha$ -アミラーゼを追加配合し添加量を調整すると、米粒の崩壊防止効果に加え、粘度の上昇を抑えることが可能となった。また、粘度抑制効果は、保温中においても良好であった。添加酵素の配合を調整することで、食塊形成に加え、嚥下しやすい物性を有する酵素含浸米を調製することが可能となった。

## (3) 酵素含浸米の炊飯時の加水量と硬さ、粘度の比較

酵素含浸米と通常米で加水量を変えて粥状の炊飯米を調製し、硬さと粘度の比較を行った。硬さを比較する(図8)と、2倍加水のものを比較すると酵素含浸米の硬さは $8 \times 10^4$ Pa、通常米の硬さは $1.5 \times 10^5$ Paで、酵素含浸米の硬さは通常米の約1/2の硬さに軟化した。3倍加水の酵素含浸米の硬さは通常米の全粥(5倍加水)以下、4倍加水の酵素含浸米の硬さは通常米の7倍加水以下と十分な軟らかさに軟化した。通常米(無洗米)の全粥(5倍加水)の硬さは、酵素含浸米の2倍加水と3倍加水のほぼ中間で、酵素含浸米の2.5倍加水の炊飯米の硬さが通常米の全粥の硬さに相当するものと推察される。添加した酵素の濃度はいずれも0.4%の酵素含浸米の比較であるが、酵素濃度を高めることで、よりやわらかい炊飯米も調製可能である。

粥の粘度を測定したところ非ニュートン流動を示した。そこで、粘度の測定は回転数を2rpmに固定して粘度を測定した。粘度を比較する(図9)と、通常米の全粥(5倍粥)の粘度が800pa·sであったのに対し、酵素含浸米の2倍加水の粘度は610 pa·sと粘度はかなり低くなった。-アミラーゼによるでんぷんの低分化は粘度を低下させる効果を有することから、でんぷん粒から溶出したでんぷんの粘度も低下したものと推察される。粘度が高くなると、老化に伴い炊飯米を硬化させる作用があるため、粘度の低下効果は介護食製造に優位な面に作用すると思われる。また、酵素含浸米に使用する酵素量は、酵素液で炊飯する方法に比べ、1/100と大幅に少なくて済む。工業化を考えると、酵素含浸米の製造は、酵素使用量、流通のしやすさ、家庭や厨房での取り扱いのしやすさ等の面で優位である。

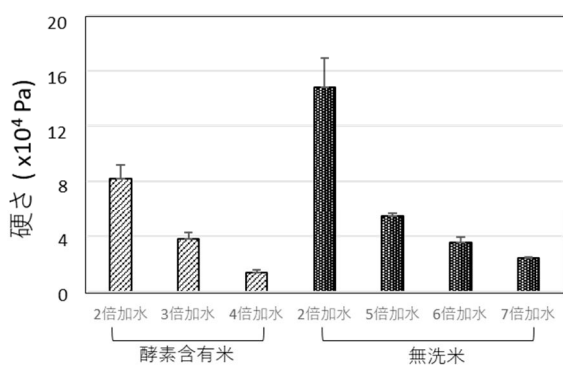


図8 酵素含有米と無洗米の硬さの比較

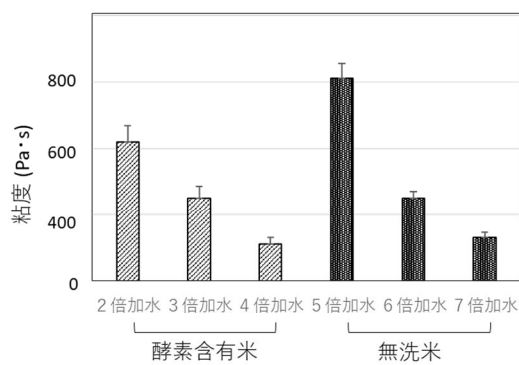


図9 酵素含有米と無洗米の粘度の比較

上述した酵素液で炊飯した場合と同じように、酵素含浸米の炊飯時における水浸漬時間と炊飯米の硬さについて調べた(図10)。酵素液炊飯の場合と同様に、水浸漬時間は炊飯米の硬さに影響しなかった。酵素含浸米は加水して直ぐに炊飯を開始しても良好な物性を有するやわらか炊飯米を調製できる。

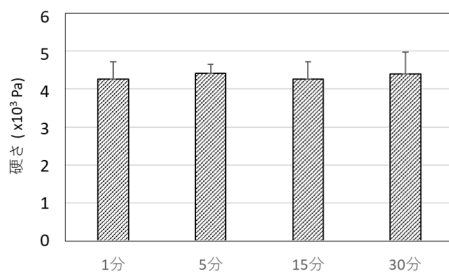


図10 酵素含有米の水浸漬時間と硬さ

無洗米乾燥条件：70℃、70分、水分量(8.5%、無洗米の6%を除去)  
 酵素液噴霧量：乾燥米100gに対し4.5g  
 加水量：3倍

本技術は米以外の穀類への適用も可能であり、同様の技術を大麦(粒麦)に応用した。含浸させる酵素としてアミラーゼに加えセルラーゼを大麦に含浸させたところ、水でそのまま炊くだけで、程よい粘度を有し、軟らかく食べやすい旨味のある大麦ごはんを調製することができた。大麦はパサパサの食感を有するが、酵素含浸することで介護食のみならず、普通米と同じようにおいしく食することができる。また、玄米も同様の処理をすることで、食感を改良することができた。麦や玄米は食感が悪く、呈味性も劣る。-アミラーゼに加え、-アミラーゼを併用するとこれらの穀類に甘味を付与することが可能となる。酵素濃度を高めることで物性も変えることが可能となるため、本技術はエネルギーの高い介護食製造に寄与するものと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂本宏司、宮脇美幸
2. 発表標題 酵素含浸を用いた咀嚼・嚥下困難者用炊飯米の開発に関する研究
3. 学会等名 第26・27回 合同学術大会 日本摂食嚥下リハビリテーション学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji SAKAMOTO
2. 発表標題 Production of esthetically pleasing care foods using various enzyme impregnation
3. 学会等名 第2回世界嚥下サミット（WDS 2021） World Dysphagia Summit、WDS（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 穀類加工品、穀類加工品の製造方法、および軟化穀類加工品の製造方法	発明者 坂本宏司、豊田文彦	権利者 学校法人常翔学園、（有）クリスターコーポ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-008252	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	真部 真里子  (MANABE Mariko)  (50329968)	同志社女子大学・生活科学部・教授    (34311)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------