

様式C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年 5月25日現在

研究種目：	基盤研究(B)
研究期間：	2005～2008
課題番号：	17300242
研究課題名 (和文)	口腔感覚粘度の直接計測法の開発とその介護食品への応用
研究課題名 (英文)	Development of Direct Measurement Device of Food Consistency in the Mouth and the Application for Food for the Elderly
研究代表者	神山 かおる (KOHYAMA KAORU) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所食品機能研究領域・ユニット長 研究者番号：00353938

研究成果の概要：

高齢社会においてニーズが高まっている物性を調整した食品の開発に資するため、食品を実際に咀嚼する条件で、口腔内にかかる圧力を直接計測することにより、口腔感覚を簡便かつ正確に評価する手法開発を目標とした。口腔感覚粘度を測定する簡易なデバイスを設計し、口腔内で検出された力学的性質の食品による差異や健常者と摂食機能障害者との差異を解析することができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	3,400,000	0	3,400,000
2006 年度	3,000,000	0	3,000,000
2007 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
総計	12,700,000	1,890,000	14,590,000

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：食品、医療・福祉、リハビリテーション、農林水産物、咀嚼、サイコロロジー、介護食、嚥下

1. 研究開始当初の背景

高齢社会において、咀嚼や嚥下機能に障害のある者が増加し、食べやすく物性を調整した介護食品のニーズが高まっている。とくに食物を嚥下するとき気道に入ってしまう誤嚥は、高齢者の被る三大事故の一つとされ、これを食品物性の制御によって防止できれば、社会的意義は極めて高い。誤嚥は、高粘度の食品で起こりにくいこと

が経験的に知られている。高粘度の食品は、ニュートン粘性などの簡単な物理法則では数値化できない複雑な粘性挙動を示し、さらに摂食中には温度変化も受ける。既存の粘度測定法と実際の口腔内の状況は大きく乖離しているものの、その複雑さゆえ測定法の開発は未着手のままであった。従来行われていたのは、官能評価による感覚粘度（いわゆる食べているときに感じる食物の

とろみやねばり)と、機器による測定粘度(物理量)の関係を調べる、サイコロロジ的な研究である。通常感覚粘度は、訓練されたパネルが言葉やスイッチで主観的に表現する官能評価により調べる。しかし、当該食品を必要とする摂食嚥下障害者の口腔感覚が健常者とは異なるために、好ましい食品物性の科学的・体系的解明は未だ行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、ヒトが力学特性の異なる食品を実際に摂食している条件において、口腔内にかかる圧力を直接計測することにより、口腔感覚を簡便かつ正確に評価することを目的として行った。特殊な技術がなくても口腔感覚粘度を測定することができる簡易なデバイスを設計し、これを用いて介護食品に多い液状から半固形状の食品の口腔感覚粘度の直接測定を行い、食品の力学的性質を客観的に表現した。将来的には、摂食機能障害のある患者の症状に適した物性を有する介護食品の開発に活用することをめざしている。

3. 研究の方法

(1)シート状の多点圧力センサを用いた口腔感覚粘度の測定

シート状の多点圧力センサは、特殊な技術や設備を要さず、摂食中のヒトの口腔内にかかる圧力を直接測定することができる。ヒトの口腔内に外部から入れた小型のセンサを用いて測定することによって、被験者を選ばず、客観的な数値を得られる。このセンサを一般的な力学測定装置でキャリブレーションしておけば、レオロジー機器測定と同じ単位での、口腔内で知覚される力の数値化ができる。既に歯で噛んで食べる固形状食品には、研究代表者らが応用していたが、これを介護食品に多く見られる液状から半固形状の食品に応用する。

まず健常者により口腔感覚粘度の直接計測を行い、評価法を確立した。さらに、摂食嚥下障害者と健常者の口腔感覚粘度の違いを検討するため、脳卒中などにより途中で口唇部の機能に障害を生じた患者で、自分の意志で実験に参加を決められるボランティア(男性6名、女性3名、平均年齢は56.7歳、麻痺側は右が6名、左が3名(何れも中枢性麻痺))により、医師の協力の下に試験を行った。茨城県立医療大学附属病院において、摂食機能の回復期に段階的に供されている食品から嫌いな者が少ない食品(米飯、粥、ペースト粥、ゼリー、とろみ

付きジュース、ジュース)を検査食品とした。これらの食品を、シートセンサを装着したプラスチック製スプーンに定量入れて、スプーンを固定し被験者に摂食させた。

(2)介護食品のレオロジー特性の機器による分析

厚生労働省の高齢者用食品の基準や日本介護食品協議会のユニバーサルデザインフードの自主基準で用いられているのは、シャーレに試料を詰め、直径20mmのプランジャーで初期高さの67%まで等速で圧縮したときの最大応力を測定する方法がとられている。ヒトが歯で噛むかどうかを判断するには、まず舌で食品試料を変形率が十数%まで押しているという報告、歯による咀嚼では圧縮変形率は100%近くに達する知見もある。食べやすさ等のヒトのテクスチャー感覚をよりよく表現する機器測定法を確立するため、動的粘弾性試験、極大変形率までの一軸圧縮試験、2バイトテクスチャー試験等、できるだけ多くのパラメータを取得した。その中で、摂食機能障害者に食べやすいとされる介護食品の特徴を抽出した。

(3)ヒトの咀嚼パラメータと機器測定値との対応関係の解明

健常被験者に、食べ方を無意識のうちに変えるため、テクスチャーの官能評価を課した場合に摂食動作を行わせ、多点シートセンサを用いた咀嚼圧測定を行った。テクスチャーの異なるチーズを、①官能評価なしで普通通りに、②完全に噛み切るときの力の値を評価しながら、③歯がチーズに初めて入る瞬間の力を評価しながら、の三通りの条件で摂食させ、咀嚼挙動の違いを解析した。

広い物性範囲から選んだ食品(乾パン、こんにゃく、ドライソーセージ、ソフトキャンデー、生ダイコン、たくあん、生ニンジン、茹でニンジン)を一口大の15×15×10mmに成形した。健常被験者11名に、通常通りに試食させ、最も一般的に行われている咀嚼計測法である、閉口筋の筋活動と切歯部における下顎運動を計測した。平板圧縮試験やテクスチャー解析等により28種の物性パラメータを得た。咀嚼計測からは、食品により有意な差が認められたパラメータについて、咀嚼中にテクスチャーが変化していくことを考慮して、咀嚼第一回目、咀嚼初期、中期、後期に分けて、合計63種の咀嚼パラメータを取得した。物性パラメータと咀嚼パラメータとの関係を、体系的に整理した。

4. 研究の成果

(1) シート状の多点圧力センサを用いた口腔感覚粘度の測定

小型で極めて薄い圧力センサをスプーンに付け、食品をスプーンに盛って口腔内に取り入れるときに、スプーンにかかる圧を測定した。介護食品に多い高粘度の液状から半固形状の食品について、口唇圧が直接測れることがわかった。5mm間隔で、複数のセンサをスプーン先端から順に貼り付けると、センサの圧ピーク検出時間の差から、流動特性が測定できた。

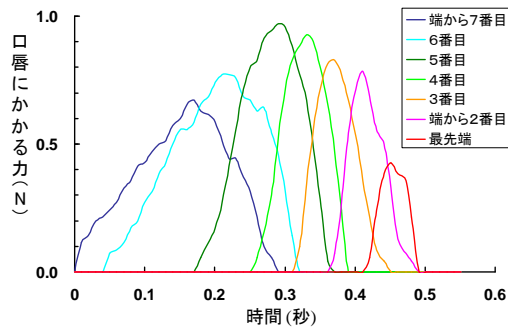


図1 スプーン一杯の反液状食品を取り込むときの口唇圧曲線の例

スプーンの形状やセンサを取り付けるスプーン上の位置によっても検出される圧が変化した。ヒトの口唇の中央、スプーン先端から20mm程度の位置が最も高い圧を検出した。また、健常者においては、各パラメータに約2倍程度の個人差があったが、濃度の異なる試料について、これらの性質は相対的に同傾向を示したため、試料テクスチャーの影響について論じることができると考えた。すなわち、試料の粘性が高い程、口唇圧は高くなるが、低粘性領域において粘度依存性がより大きい。また、試料の粘性が高くなるほど、試料を口唇に取り入れる速度が遅くなり、その時間が長くなった。

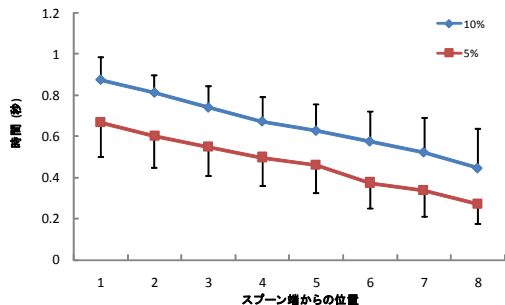


図2 試料濃度による流動速度の変化

各センサが最大圧を検出した時間の平均値と標準偏差

健常成人においては、100kPa程度の口唇圧

により摂食される市販食品について、摂食機能障害のある小児による測定を試みた。多くの小児が口唇がうまく閉じられず、スプーンから食物を捕食できなかったが、この場合、検出される口唇圧は0となった。

表1 形状の異なるスプーンによる増粘剤の口唇圧

	増粘剤濃度7%		増粘剤濃度10%	
	スプーンA	スプーンB	A	B
平均圧 (kPa)	91	51	110	55
速度 (mm/s)	98	109	81	86
力の和 (N)	1.37	0.66	1.65	0.73
力積の和 (Ns)	0.283	0.113	0.456	0.157
感圧する時間 (s)	0.392	0.255	0.503	0.321

健常被験者10名の平均値

脳卒中の後遺症により、摂食機能に片麻痺障害のある者で実験を行った。シートセンサをスプーンに二列に配置し、健常側と障害側を比較した。摂食障害のある患者は、健常者よりも、口唇圧が低く、食品の物性に依じて口唇圧を変えることが少なかった。食材毎にピーク荷重値、その比率（非麻痺側/麻痺側）及び荷重積分値の比率を算出した。ピーク荷重の平均値は78g重であった。9名中8名でピーク荷重値比率が最大となった試料と荷重積分値比率が最大となった試料が一致した。ピーク荷重値と荷重積分値は、9名中7名で非麻痺側が麻痺側よりも高値を示し、その比率が、顔面神経麻痺の重症度をある程度定量的に表していると考えられた。比率が1未満となった2例では、取込み動作の観察から顔面神経麻痺の代償動作として、健常側口唇のみで取込みを行なう習慣が修得されているために、健常者で最も高い摂食圧を示す正中部に近い部位が麻痺側センサにより検出されたと考えられた。

(2) 介護食品のレオロジー特性の機器による分析

材料も栄養価も様々な、市販されている介護食品のレオロジー特性を動的粘弾性測定により分析した。静置しているような低周波数領域から、咀嚼中の10rad/s、嚥下中の条件と考えられる100rad/sという広い範囲に渡り、ほぼ一定の貯蔵弾性率、損失弾性率を示す、ゲル状の構造をもつものであった。しかし、貯蔵弾性率の値自体は、咀嚼条件に近いと考えられた10rad/sの条件で、ペースト状調理食品の示した 10^5N/m^2 付近から介護食ゼリーの 10N/m^2 程度まで、1000倍以上も異なるものがあった。これらの食べやすさが大きく異なることから、動的粘弾性で示されるような微小変形下における性質はあまり関係ないのではないかと推察された。

つぎに、単純な圧縮試験を行った。多くの介護食品は、厚生労働省の基準にもなっている、20℃、10mm/sで67%まで圧縮したときの応力が、 10^4N/m^2 の桁以下のものが多かった。しかし、67%までの変形率では明らかに破壊されないような試料においては、さらに圧縮すると応力が高くなる可能性がある。ヒトの咀嚼筋筋電図結果と対応させると、おおむね圧縮率が80%以上大変形させたときの圧縮応力が、咀嚼に要する仕事の大きさ、すなわち食べにくさをより反映するように思われた。大変形時の応力がとくに食べにくさを表す食品は、肉類、蒲鉾や餅などのゲル類であった。

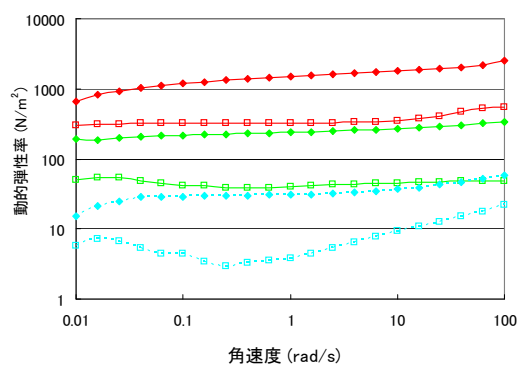


図3 物性の異なる8固形状食品の咀嚼パラメータによる主成分分析結果

市販の介護用△ース、プリン、ゼリーの例
菱形は貯蔵弾性率、四角は損失弾性率

(3) ヒトの咀嚼パラメータと機器測定値との対応関係の解明

チーズの前歯による咀嚼力は、試料や被験者に依らず、官能評価なしで普通通りに（通常条件）>完全に噛み切るときの力の値を評価しながら（噛切条件）>歯がチーズに初めて入る瞬間の力を評価しながら（貫入条件）、の順に低く、咀嚼時間は通常条件<噛切条件<貫入条件の順に長くなった。

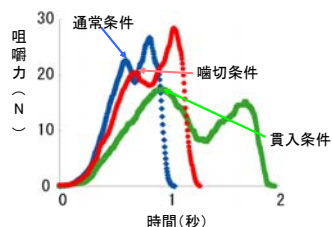


図4 異なる条件でのチーズの咀嚼曲線

変形速度が遅いほど抵抗力が低くなるという関係は、チーズのような粘弾性を示す試料においては妥当だと考えられた。高齢者の咀嚼は若年者に比べて、また高齢者の中では残存歯数が低くなるほど、咀嚼時間の延長が観察されたが、速度を遅くするこ

とで咀嚼力が低くても食物を破壊できる実例を示せたことで、咀嚼力の低い者における時間制御型咀嚼の生理学的な意味づけができたと考える。

テクスチャーに特徴のある固形状食品8種から得た28種の物性パラメータから、試料食品の力学特性を特徴づけ、食品により有意差があり互いに独立した9グループ [①小変形条件下、②中変形下、③大変形下、④極大変形下での力学抵抗性、⑤破壊応力、⑥凝集性、⑦附着性、⑧密度、⑨水分含量] を抽出した。

咀嚼挙動は個人差が大きいので、被験者毎に8食品の咀嚼パラメータ平均値に対する相対値を計算し、このクラスター分析から9群が抽出された。各群を代表する咀嚼パラメータを選び、主成分分析を行ったところ、3つの主成分、それぞれ咀嚼周期及び咀嚼時間、咀嚼初期における最小開口距離、咀嚼力に關係するものが抽出できた。咀嚼運動に関するパラメータは、食品の種類が変わっても大きく変化しなかったが、これは試料の初期大きさをそろえたためと思われる。

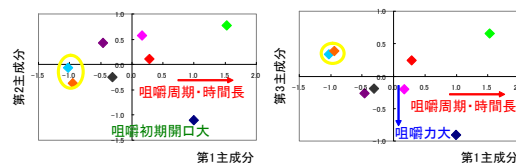


図5 物性の異なる8固形状食品の咀嚼パラメータによる主成分分析結果

各点は、乾パン、こんにゃく、ドライソーセージ、ソフトキャンデー、生ダイコン、たくあん、生ニンジン、茹でニンジンの11名の被験者の平均値

選定した食品の物性が類似していないので、各食品の主成分得点はそれぞれ異なった。しかしその中で、こんにゃくと茹でニンジンの咀嚼挙動は近いことがわかった。この2食品は、極大変形させた時の力学抵抗値に近いが、その他の破壊特性や小変形における物性は全く異なっていた。

上記9物性値と、各咀嚼パラメータとの相関関係を調べた。以上の関係から、食品の変形度が比較的小さい（圧縮率<50%）時の性質は、咀嚼挙動に影響せず、破壊特性は、咀嚼初期の挙動は変えるものの、咀嚼過程全体に及ぼす影響は小さかった。極めて大きい変形条件下での力学抵抗性力値が咀嚼初期の、附着性が咀嚼中期から後期の、咀嚼挙動に最も影響していることが示された。

本結果は、物性値が独立性の高い食品を選定し、食品を物性値により特徴づけたので、似た物性を示す異なる食品を用いても、

同等の結果が得られることが予測される。この事実から、咀嚼特性を考える場合には、小変形や破壊時の物性よりも、破壊されるかどうかに関わらず、その後の圧縮抵抗性がより重要であることを示唆している。人間は、咀嚼するとき、上下の歯の間に食物を配し、上下の歯がほぼ触れ合うまで噛みしめる。この人間の動作に近い機器測定法として、極限まで圧縮する条件が考えられる。

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)

[雑誌論文] (計22件)

- ① 熊谷仁、田代晃子、長谷川温子、神山かおる、熊谷日登美、Relationship between the flow properties of some thickener solutions and their velocity through the pharynx as measured by the ultrasonic pulse Doppler method、Food Science and Technology Research、15(3)、203-210、2009、査読有
- ② 早川文代、風見由香利、藤本知子、菊池英夫、神山かおる、Time-Intensity analysis of the sourness in gummy jellies on the Japanese market、Food Science and Technology Research、15(1)、83-90、2009、査読有
- ③ 大山高裕、阿久津智美、伊藤和子、渡邊恒夫、神山かおる、筋電位計測による若年者と高齢者の漬物咀嚼特性解析、日本食品科学工学会誌、56(1)、14-19、2009、査読有
- ④ 神山かおる、佐々木朋子、早川文代、Characterization of food physical properties by the mastication parameters measured by electromyography of jaw closing muscles and mandibular kinematics of young adults、Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry、72(7)、1690-1695、2008、査読有
- ⑤ 小泉敦、西村豊、神山かおる、筋電図によるおやつ・おつまみの咀嚼特性評価、日本咀嚼学会雑誌、18(1)、60-68、2008、査読有
- ⑥ 檀はるか、早川文代、神山かおる、Modulation of biting procedures induced by the sensory evaluation of cheese hardness with different definitions、Appetite、51(1)、158-166、2008、査読有
- ⑦ 檀はるか、岡本雅子、和田有史、檀一平太、神山かおる、First bite for hardness judgment as haptic exploratory procedure、Physiology and Behavior、92(11)、601-610、2007、査読有
- ⑧ 早川文代、井奥加奈、阿久澤さゆり、

米田千恵、風見由香利、西成勝好、中村好宏、馬場康維、神山かおる、性別・年齢別・地域別にみた日本語テクスチャー用語の認知状況 日本語テクスチャー表現に関する研究(第3報)、日本食品科学工学会誌、54(11)、488-502、2007、査読有

⑨ 塩沢光一、神山かおる、柳沢慧二、嚥下閾値に及ぼすトロミ剤の影響、日本咀嚼学会雑誌、17(1)、27-34、2007、査読有

⑩ 神山かおる、早川文代、固形状食品における力学物性と咀嚼挙動との関係、日本咀嚼学会雑誌、17(1)、35-44、2007、査読有

⑪ 檀はるか、神山かおる、Interactive relationship between the mechanical properties of food and the human response during the first bite、Archives of Oral Biology、52(5)、455-464、2007、査読有

⑫ 神山かおる、澤田寛子、野仲美保、小堀千春、早川文代、佐々木朋子、Textural evaluation of rice cake by chewing and swallowing measurements on human subjects、Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry、71(2)、358-365、2007、査読有

⑬ 神山かおる、澤田寛子、野仲美保、中城巳佐男、テクスチャー機器分析およびヒトの摂食測定による咀嚼・嚥下困難者用餅の食べやすさ評価、日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌、10(2)、115-124、2006、査読有

⑭ 神山かおる、野仲美保、小堀千春、中城巳佐男、介護食品のテクスチャー、日本咀嚼学会雑誌、16(1)、17-23、2006、査読有

⑮ 早川文代、井奥加奈、阿久澤さゆり、米田千恵、風見由香利、西成勝好、馬場康維、神山かおる、質問紙法による消費者のテクスチャー語彙調査 日本語テクスチャー表現に関する研究(第2報)、日本食品科学工学会誌、53(6)、327-336、2006、査読有

⑯ 池田岳郎、早川文代、神山かおる、テクスチャーを表現する擬音語・擬態語を用いた食感性解析、日本食品工学会誌、7(2)、119-128、2006、査読有

⑰ 早川文代、日本語のテクスチャー表現、おいしさの科学、1(1)、39-44、2006、査読無

⑱ 早川文代、食味表現の背景にあるもの(1~3)、Foods & Food Ingredients Journal of Japan、210(3)、275-279、210(8)、789-792、210(11)、1076-1078、2005、査読無

⑲ 神山かおる：多点シートセンサによる咀嚼研究、食品工業、48(16)、49-55、2005、査読無

⑳ 早川文代、井奥加奈、阿久澤さゆり、齋藤昌義、西成勝好、山野善正、神山かおる、日本語テクスチャー用語の収集、日本食品科学工学会誌、52(8)、337-346、2005、

査読有

21 神山かおる、ヒトの摂食過程における食品テクスチャーの解析、ソフトドリンク技術資料、146、161-177、2005、査読無

22 神山かおる、咀嚼しやすい食品のテクスチャー特性—小麦粉製品を例として—、冷凍、80(5)、4407-411、2005、査読無

[学会発表] (計12件)

① 神山かおる、早川文代、佐々木朋子、Texture evaluation of rice cake by human mastication measurement、14th World Congress of Food Science and Technology IUFoST 2008、2008年10月22日、上海光大会展中心

② 神山かおる、高齢者向け食品のこれまでと現在の課題、第19回日本咀嚼学会学術大会、2008年9月28日、早稲田大学

③ 神山かおる、Texture evaluation of rice products by chewing and swallowing measurements on humans、2008 AACC International Annual Meeting、2008年9月24日、ハワイコンベンションセンター

④ 神山かおる (オーガナイザー)、食品開発におけるユニバーサルデザイン、日本食品科学工学会第55回大会、2008年9月5日、京都大学

⑤ 早川文代、風見由香利、藤本知子、神山かおる、Time-Intensity法による市販グミキャンディの味の評価、日本官能評価学会2007年度大会、2007年11月10日、東京農業大学

⑥ 高橋徹、熊谷昌則、秋山美展、早川文代、神山かおる、固形状食品の咀嚼特性値とレオロジー特性値との関係、第55回レオロジー討論会、2007年11月1日、朱鷺メッセ

⑦ 神山かおる、早川文代、ヒトの咀嚼測定パラメータを用いた食品の特性解析、第18回日本咀嚼学会学術大会、2007年8月25日、千里ライフサイエンスセンター

⑧ 檀はるか、早川文代、神山かおる、かたさ評価中の咀嚼挙動の解析、日本官能評価学会2006年度大会、2006年11月25日、東京農業大学

⑨ 安岡利一、神山かおる、大仲功一、市村久美子、顔面神経麻痺者に於ける口唇圧測定、第12回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会、2006年9月9日、川崎医療福祉大学

⑩ 池田岳郎、早川文代、神山かおる、擬音語・擬態語を用いた食品のレオロジーと感性に関する研究、第53回レオロジー討論会、2005年11月26日、豊橋技術科学大学

⑪ 神山かおる、高齢者が咀嚼しやすい食品のテクスチャー、第16回日本咀嚼学会学術大会、2005年9月23日、松本市中央公民

館

⑫ 神山かおる、食感の客観的評価と口腔内感覚との関係、日本食品科学工学会第52回大会、2005年8月30日、北海道大学

[図書] (計4件)

① 神山かおる、食物テクスチャーに対する高齢者の嗜好性、高齢者食の設計、そして計測 (計3項目)、『食品技術総合事典』(食品総合研究所編)、全584頁のうちpp. 80-83, 84-88, 461-464、2008

② 神山かおる、ヒトの歯による咀嚼、『レオロジーデータハンドブック』、日本レオロジー学会編、全546頁のうちpp. 425-427、2006

③ 神山かおる、食品の種類によって噛む力はどの程度変わりますか?、『咀嚼の本—噛んで食べることの大切さ—』(日本咀嚼学会編)、全208頁のうちpp. 122-123、2006

④ 神山かおる、早川文代、テクスチャー測定法、食感官能評価と用語、多点センサーによるテクスチャー評価技術『食感創造ハンドブック』、西成勝好、大越ひろ、神山かおる、山本隆編、全454頁のうちpp. 185-191, 195-202, 245-250、2005

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神山 かおる (KOHYAMA KAORU)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所食品機能研究領域
・ユニット長

研究者番号：00353938

(2) 研究分担者

早川 文代 (HAYAKAWA FUMIYO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所食品機能研究領域
・主任研究員

研究者番号：00282905

(3) 連携研究者

安岡 利一 (YASUOKA TOSHIKAZU)

株式会社日立製作所多賀総合病院 医務局・副院長 (研究実施当時の所属 茨城県立医療大学附属病院)