

博士論文

エステル化タピオカ澱粉混合麵の
物性・咀嚼性および嗜好性に関する研究

兵庫県立大学大学院 環境人間学研究科
環境人間学専攻

江口 智美

2015年 2月

目次

序論	1～6
第1章 余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼす エステル化タピオカ澱粉混合の影響	7～32
第2章 エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性・咀嚼性・嗜好性に及ぼす ゆで時間の影響	33～55
第3章 うどんの物性・咀嚼性・嗜好性に及ぼす エステル化タピオカ澱粉濃度の影響	56～74
第4章 総括	75～76
参考文献	77～83
謝辞	84
業績目録	85～87
公聴会資料（要旨・発表スライド）	88～103

序論

食品には、栄養機能、おいしさや嗜好性などの感覚機能、健康維持などの生体調節機能の三大機能がある¹⁾。人間は、単に栄養素や機能性成分を摂取するためだけに食べているのではない。おいしいものを食べることにより、食欲を増進し心豊かな食生活を送ることができるため、おいしさは欠かせないものである^{1),2)}。おいしさの決定要因には、色、味、香り、食感などがあるが、特に固形状食品では、食感がおいしさの大きな決定要因となる^{3),4)}。食感は主としてテクスチャー、つまり口腔内で感じられる物理的性質の総体、口触り、歯応え、喉越しなどを意味する⁵⁾。

食感改良や調理性改善に、食品ハイドロコロイドが広く使用されている¹⁾。食品ハイドロコロイドは、澱粉、ペクチン、コンニャクグルコマンナンなどの植物起源のもの、寒天、カラギーナン、アルギン酸などの海藻抽出物、キサントガム、カードラン、ジェランガムなどの微生物が発酵法によって作り出すもの、ゼラチン、乳清蛋白などの動物性蛋白質などがあり、ゲル化性、保水性、分散性、増粘性、安定性などの優れた機能特性を持つ¹⁾。用途に合わせて異なる特性を持つものが使用されており¹⁾、多様な食品の食感創造や調理性改善に寄与している。

日本は超高齢社会を迎えている。2014年現在、65歳以上の高齢者が3281万1000人おり、総人口に占める割合は25.8%となっている⁶⁾。また、日本人の死因の第三位は肺炎であり⁷⁾、その70%は誤嚥性肺炎が関与しているとの報告もある⁸⁾。多くの高齢者は、歯の喪失、加齢に伴う筋力低下、あるいは持病などにより、咀嚼・嚥下機能が低下し、食べられる食品テクスチャーに制約が生じている⁹⁾。口から食事を摂ることは、人々の基本的なニーズであり¹⁰⁾、健康やQOL(生活の質)の維持・向上の観点から重要である。また、よく咀嚼することは、唾液分泌の促進、脳内血流の増加、覚醒度の高揚、肥満防止、姿勢の正常化、免疫亢進、骨代謝の増進に効能があることが分かっている⁹⁾。したがって、誤嚥を防ぐ安全なテクスチャーであり¹¹⁾、しかも食品の三大機能を満たす咀嚼・嚥下困難者用の食品や咀嚼機能維持に役立つ食品の開発が喫緊の課題となっている。摂食者の年代や咀嚼・嚥下機能の程度、嗜好性に応じた多様な食感制御が要求されている。

また、環境に配慮した食生活であるエコクッキングの普及が進められている。地球温暖化やエネルギー問題などの一つの解決策として、エコクッキングに関心を持つ人が2000年以降増えつつある¹²⁾。調理に伴う省エネルギー化を実現するためには、調理者個々が調理方法を工夫するだけでなく、食品自体の調理性改善を図ることも重要である。

これらを背景に、新しい食品ハイドロコロイドの探索や、個々の特性を持つ食品ハイドロコロイドの混合による新しい食品ハイドロコロイドの開発が進められている¹⁾。しかし、物性制御の機構や、物性と咀嚼性および嗜好性の関係については未解明な部分も多い。食品テクスチャーの測定法は1960年代に体系づけられ、主に、客観的方法である機器測定か主観的方法である官能評価が用いられてきた⁹⁾。機器測定では食べる前の食品の物理化学的性質を調べ、官能評価の多くは食べた

後に知覚されたテクスチャーを調べる⁹⁾。テクスチャーの要素は、力学的性質、幾何学的性質、水分や油脂の含量に分けられるが、いずれの要素も摂食中に極めて大きく変化するため、機器測定値と官能評価結果は合わないことも多い⁹⁾。そのため、近年、咀嚼中の実態をより直接的に把握するため、咀嚼しているヒトの咀嚼筋筋電位などの生理学的な測定を行い、食品の咀嚼性やヒトの感性の違いを客観的数値として示す研究法が導入されるようになってきた⁹⁾。したがって、特に咀嚼性に関する研究は新しい研究領域であり、知見が比較的少なく、これからの進展が期待されているところである。

食品ハイドロコロイドの中で広く用いられている素材に澱粉がある。澱粉は、安価で、加工性や貯蔵性に優れ、摂取することによりそれ自体がエネルギー源となる欠かせない素材である^{13),14)}。主として高等植物の光合成により細胞内のアミロプラストに貯蔵されている多糖類である^{15),16)}。澱粉粒は水に不溶の小粒子であるが、植物の成長とともに増大する^{15),17)}。澱粉粒を構成する分子は α -D-グルコースを唯一の構成体とする代表的なホモグルカンであり¹⁶⁾、グルコース間の結合様式の違いからアミロースとアミロペクチンの二つの成分に分けられる^{16),17)}。アミロースはD-グルコースが α -1,4結合した直鎖状の高分子で、重合度は数十～数千であり、 α -1,6結合の短い枝が若干ついている場合もあるとされている^{13),15)}。アミロペクチンは α -1,4結合の他、4～6%の α -1,6結合により高度に分岐した重合度数十万～数百万の3次元構造をもつ巨大分子である^{13),17)}。代表的な澱粉には、小麦、とうもろこし、米などの穀類澱粉、タピオカ、馬鈴薯、甘薯などのいも類澱粉、緑豆、えんどう、小豆などの豆類澱粉、サゴなどのヤシ澱粉、葛、蕨などの食用野草類澱粉がある¹⁸⁾。原料起源の異なる澱粉は、澱粉粒の粒子径や粒形態、構成成分などが異なり、それぞれに特有の性質を示す^{15),16)}。食品は多成分の複合系であるが、澱粉を多く含む食品が澱粉質食品である。澱粉質食品には、米飯、団子、麺類、パンなど様々な食品がある。米飯のように原料起源を単独とするものもあれば、上新粉（うるち米が原料）と白玉粉（もち米が原料）からつくられる団子のように2種類以上の起源が異なる澱粉質原料を混合した澱粉混合系、小麦粉や卵、牛乳、バターなどからつくられるパンのように澱粉質原料にたんぱく質や脂質が加えられる澱粉複合系もある。うどんなどの麺類は、もともと原料起源を小麦単独とするものが多かったが、近年では食感改良や調理性改善のため、澱粉混合系のもも増えている。いずれにせよ、ほとんどの澱粉質食品は、糊化されて、主に主食として毎日多量に食されている⁴⁾。糊化とは、澱粉粒を大量の水とともに加熱した時にたどる、吸水→膨潤→崩壊→分散の一連の現象である¹⁵⁾。ある温度で澱粉粒は水を吸収して膨らみ始め、さらに加熱温度の上昇に伴い、澱粉を構成する分子間水素結合が破壊され、不可逆的な膨潤を起こして膨潤が極限に達すると澱粉粒構造が崩壊し顕微鏡下における粒形態が消失する¹³⁾。糊化により澱粉の性状は大きく変化し、粘弾性やゲル化性を発現する。澱粉は分子構造も分子量も不揃いな構造的特徴をもつ生体高分子であるうえに、糊化は連続的な変化を引き起こす現象である^{19),20)}。そのため、糊化澱粉の論理的な物性制御は大変難しく、物性制御は試行錯誤的になされる宿命をもつ²⁰⁾。しかし、澱粉の粒子径や粒形態、構成成分、澱粉質食品の

構造などから、論理的に澱粉の糊化を制御し、少しでも系統的に物性制御の機構を解明することができれば、わずかでも食感制御が容易になることが期待できる。また、澱粉質食品の物性と、摂食者の咀嚼特性や嗜好性の関係が解明されれば、摂食者の年代や咀嚼・嚥下機能の程度、嗜好性に応じた多様な食感制御が容易になり、人々の健康や QOL の維持・増進の一助となることが期待できる。

そこで、本研究では、澱粉質食品のひとつとして、一般に広く製造されている澱粉混合系食品である、中力小麦粉に酢酸エステル化タピオカ澱粉を混合した乾麺のうどんを取り上げ、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係についての評価を行うこととした。

うどんは、主に小麦粉を原材料とする水分勾配の不均一性が特徴的な食品である^{21)~23)}。食べ物のおいしさには、食べる人の嗜好が大きく関わるが、一般的においしいうどんの条件には、舌触りが「つるつる」となめらかで、ソフトな弾力や適度な硬さと「こし」のある食感であることが挙げられる^{24)~29)}。水分勾配が不均一なため、噛んだ時に外側で粘りを、中心部で硬さを感じ、全体として特徴のあるこしを呈している²¹⁾。うどんの食感には、小麦たんぱく質中のグルテンよりも澱粉の性質が大きく関わるということが明らかとなっている^{21),30)~33)}。澱粉の粒子径や粒形態、構成成分、麺の構造により、吸水・膨潤特性や糊化特性が左右され、食感が決定される^{21),30)~34)}。例えば、低アミロースのうどんは食感がよいことが分かっている^{30),33),35)~38)}。また、利用しやすい簡便な加工食品が増えるなかで、うどんも調理時間の短い細いものが好まれる傾向が顕著にみられる^{39)~41)}。これらの観点から、小麦以外の各種澱粉を混合し、食感改良やゆで時間の短縮化や保存性の向上などの調理性改善を図る試みが 1970 年代より始められ、現在に至っている^{21),24),25),27),39),42),43)}。

麺に混合される澱粉には、一般に、ワキシーコーンスターチ、馬鈴薯澱粉、タピオカ澱粉がよく利用されている^{21),25),32),42)~46)}。これらは、糊化温度が低く(20% w/w 溶液の 0.2°C/min での DSC 測定による糊化ピーク温度は、ワキシーコーンスターチで 70.5°C、馬鈴薯澱粉で 62.9°C、タピオカ澱粉で 60.6°C、コーンスターチで 66.2°C、30% w/w 溶液の 10°C/min での DSC 測定による糊化ピーク温度は、小麦澱粉で 58.8°C)^{27),47)~49)}、吸水性もよいため、ゆで時間の短縮効果がみられるが、一方でゆでのびしやすい^{27),50)}。また、低アミロース・高アミロペクチンなため(アミロペクチン含量は、ワキシーコーンスターチで 100%、馬鈴薯澱粉で 79%、タピオカ澱粉で 83%、小麦澱粉で 72%、コーンスターチで 72%)⁵¹⁾、保水性に優れ、粘着性や結着性に富み、こしや弾力が強く粘り感の強い食感を付与する⁵²⁾。ワキシーコーンスターチは、最もソフトでもちもちした食感を呈し、のどごし、つるつる感に優れているが、ゆで溶けの傾向にある^{21),46)}。馬鈴薯澱粉は、硬さが強調されたこつこつ感を呈する⁴⁶⁾。麺の太りが良好であるが、食塩により吸水膨潤が抑制され、吸水力、透明感が低下する傾向がみられるので、含有食塩濃度の調節が必要となる⁴⁶⁾。タピオカ澱粉は、ゴム感のある強い弾力性を呈する²¹⁾。すなわち、比較的ソフトな弾力と粘りをもったもちもちとした食感を呈し、のどごし、つるつる感も良好である^{43),46)}。なお、コーンスターチは最も多量に市販されている澱粉

であるが、糊化温度とアミロース含量が高く、ぼそつきのある硬い食感となるため、麺にはほとんど使用されない^{21),46)}。

これらの中でも、タピオカ澱粉を混合した場合の食感が好まれるため、特にタピオカ澱粉のうどんへの使用頻度が高い^{43),53)}。タピオカ澱粉の原料は、キャッサバである^{18),45),54)}。キャッサバは、南米原産のトウダイグサ科の多年生木本で、原産地では古くから塊根が重要な食糧として利用されてきた^{52),55)}。キャッサバ、タピオカ、マニオク、マンディオカ、ユカと様々に呼ばれるが、いずれも同じものである^{18),45),54)}。また、日本ではサゴ澱粉もタピオカ澱粉と呼ばれ混同されることがあるが⁵⁴⁾、本研究ではキャッサバ原料のものを指す。世界各地へ伝播したのはコロンブスの新大陸発見(1492年)以降であり、現在の栽培地域は、南・北緯30度以内の気温27~28°Cの高温地域である⁵⁴⁾。乾燥地、酸性土壌、貧栄養土壌など様々な悪環境下での栽培が可能であるうえに、他の澱粉作物と比べて澱粉の高い生合成能をもち、単位面積あたりの収穫量が多いため、食糧問題解決の糸口と期待されている⁵⁶⁾。世界総生産量は約2億7700万t(2013年)で、主産地は、ナイジェリア、ブラジル、タイ、インドネシアなどである⁵⁷⁾。用途は、総生産量の約95%が直接の食用であり、他が飼料や澱粉原料である^{18),54)}。キャッサバの栽培種には苦味種と甘味種があるが、いずれの根茎中にもリナマリンが含まれている¹⁸⁾。このグリコシドは組織が破壊されると、根茎中の酵素により分解され青酸が生成するが、澱粉の製造中に鉄イオンと結合しフェロシアン化物となり無毒化される¹⁸⁾。澱粉原料としては、強健、多収穫、高澱粉含量の苦味種がタイを中心に東南アジアで栽培されている¹⁸⁾。タイはドイツの馬鈴薯澱粉製造技術を導入した合理化工場が建設され、品質的にも安定したタピオカ澱粉の世界第1位の輸出国となっている⁵⁵⁾。また、タイのタピオカ澱粉は、日本が輸入した天然澱粉16万7000tのうち、約8割に相当する13万1000tを占めており(2009年)、日本の輸入澱粉のトップを占めている⁵⁸⁾。一般に、タピオカ澱粉は、粒子径4~35 μm で平均粒子径15 μm の単粒であり、多角形状または半球形状をしている^{15),18),45),51)}。加熱により吸水・膨潤しやすく、糊液は透明性が高く、放置によってもゲル化しにくいなどの性状を示し¹⁸⁾、食品、工業用などに幅広く使用されている⁵⁸⁾。

タピオカ澱粉は、加工澱粉の原料としても重要である¹⁸⁾。流通形態の変化や簡便性志向などと相まって、冷凍麺、LL(ロングライフ)麺、加熱不要の水さばき麺および調理麺などが市販されるに至り、高度な加工性が要求されている⁴³⁾。そのため、麺に混合される澱粉は、天然澱粉だけでなく、加工澱粉にも広がっている⁴³⁾。加工澱粉は、天然澱粉に各種加工を施して本来の構造や物性の一部を改質、改善した澱粉である⁵⁹⁾。加工澱粉の原料となる天然澱粉の性質は、加工澱粉の物性にも影響する⁵⁹⁾。澱粉機能の改善を図る加工澱粉の種類は非常に多く、その基本は加水分解、アルファー化、官能基付加であるが⁵⁹⁾、麺によく利用されているのは、官能基付加の加工澱粉である^{43),46),50),53)}。澱粉はグルコースが脱水・縮合した高分子物質で、グルコース残基当たり3個のフリーな水酸基(-OH)を有している⁵⁹⁾。官能基付加の加工澱粉では、この水酸基に官能基が導入・付加される⁵⁹⁾。官能基がエステル結合(澱粉水酸基と無機酸あるいは有機酸とが脱水結合)で付加

されたものをエステル化澱粉，エーテル結合（澱粉水酸基の水素原子をアルキル基と置換）で付加されたものをエーテル化澱粉，水酸基同士が結合されたものを架橋澱粉と呼んでいる⁵⁹⁾。エステル化澱粉には，酢酸澱粉，リン酸澱粉，オクテニルコハク酸澱粉，エーテル化澱粉には，カルボキシメチル澱粉，ヒドロキシアルキル澱粉，カチオン澱粉，架橋澱粉には，リン酸架橋澱粉などがある⁶⁰⁾。また，官能基付加の程度を置換度（DS，degree of substitution の略）と呼び，グルコース残基当たりの置換基の数を示す⁵⁹⁾。置換度は3まで可能であるが，実用化しているものはほとんど0.01~0.1，すなわち100個のグルコースに1個から10個の官能基が付加している程度である⁵⁹⁾。付加される官能基の種類と置換度により物性は異なるが，多くは，糊化温度の低下，糊液の透明性の向上，造膜性の改善，保存時の老化の抑制など共通した性質を示す⁵⁹⁾。これは，澱粉粒子の結晶構造が弱くなり，澱粉分子の再配列において置換基が立体障害になるためと考えられている⁶⁰⁾。用途や使用目的に応じて，官能基の種類や置換度は選択される⁵⁹⁾。一般に，麺のゆでのび防止用には，エステル化澱粉，エーテル化澱粉，架橋澱粉，あるいはこれらの混合系加工澱粉が5~30%混合して利用されている²¹⁾。また，ロングライフ麺にはエーテル化澱粉やエステル化澱粉が通常20~40%混合されており，チルドの水さばき麺にはエーテル澱粉が混合されている²¹⁾。乾麺の早ゆで化には，エステル化澱粉の酢酸澱粉が広く用いられている^{43),53)}。

酢酸澱粉は，最も一般的な加工澱粉であり，エステル化澱粉の中で最初に実用化された^{59),60)}。低置換度のものは，現在も食品，工業用ともに大量流通しており，高置換体は最近，医療，生分解性プラスチックなどの分野に可能性が出ている⁶⁰⁾。低置換度の酢酸澱粉は，澱粉懸濁液にアルカリを触媒にして，無水酢酸または酢酸ビニルモノマーを添加して反応させ，生産される^{59),60)}。アルカリには水酸化ナトリウムや炭酸ナトリウムが使用されるが，生成したエステルアルカリによる加水分解を防ぐためにpH調節がなされる⁵⁹⁾。反応後，副生成物などの不純物は十分に水洗して除去，乾燥して粉末状品が得られる⁵⁹⁾。得られた澱粉粒子の外観はもとの澱粉と全く変わらないが，性質は劇的に変化しており，糊化温度の低下，糊液の透明性の向上，保存時の離水や老化の抑制などの性質を示すようになる⁶⁰⁾。これは，他のエステル化澱粉やエーテル化澱粉などと同じく，澱粉粒子の結晶構造が弱くなり，澱粉分子の再配列において置換基が立体障害になるためと考えられている⁶⁰⁾。置換がさらに進むと置換基である疎水性のアセチル基の特性が現れ，置換率15%程度までは水で加熱糊化するが，40%以上では，水，アルコールに溶解しなくなる⁶⁰⁾。置換度が高いほど効果は顕著になるが，使用目的によって必ずしも置換度が高いほど好ましいとは限らない⁵⁹⁾。例えば適度な粘弾性を必要とする場合には，置換度が高くなると弾力が減少して粘着性が強くなる⁵⁹⁾。

以上より，本研究で用いる酢酸エステル化タピオカ澱粉を混合した乾麺のうどんは，なめらかで，やわらかなこしや弾力のあるもちもちとした食感を示し，早ゆで化が期待できるが，ゆでのびしやすいことがこれまでに分かっているうどんである。本研究「エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性，咀嚼性および嗜好性に関する研究」は以下の4章で構成する。

第 1 章では、調理における省エネルギー対策を目的として、酢酸エステル化タピオカ澱粉（以下、エステル化タピオカ澱粉）のうどんへの混合が、余熱利用調理の調理性改善に有効かを検討した。エステル化タピオカ澱粉混合麺において、構成成分や、幾何学的特性（澱粉の粒子径や麺の構造）が、麺の糊化に関わる熱的特性に及ぼす影響を検討し、さらにその熱的特性が麺の物性や若年者の嗜好性に及ぼす影響を検討した。

第 2 章では、高齢者向け食品への寄与を目的として、加熱時間により物性を調節したエステル化タピオカ澱粉混合麺を用いて、若年者と高齢者の咀嚼特性および嗜好性の特徴について検討した。

第 3 章では、第 2 章と同じく高齢者向け食品への寄与を目的とした。エステル化タピオカ澱粉の混合濃度が、うどんの幾何学的特性や物性に及ぼす影響を検討し、若年者と高齢者の咀嚼特性および嗜好性の特徴についてさらなる検討を行った。

第 4 章の総括では、エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性と高齢者の咀嚼特性および嗜好性について考察するとともに、研究の社会的意義や今後の展開について述べる。

第 1 章 余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼす エステル化タピオカ澱粉混合の影響

1.1. 緒言

1.2. 実験方法

1.2.1. 試料の調製

1.2.1.1. 原材料

1.2.1.2. 乾麺

1.2.1.3. 加熱試料

1.2.2. 測定方法

1.2.2.1. 形状および一般成分

1.2.2.2. 加熱試料調製中の水温変化

1.2.2.3. 加熱試料調製中の消費電力量

1.2.2.4. 糊化特性

1.2.2.5. 貫入特性

1.2.2.6. 原材料のアミロース／アミロペクチン含量

1.2.2.7. 原材料の粒子径分布

1.2.2.8. 原材料および乾麺の構造観察 (SEM)

1.2.2.9. 官能評価

1.2.2.10. 統計解析

1.3. 実験結果

1.3.1. 形状および一般成分

1.3.2. 加熱試料調製中の水温変化および消費電力量

1.3.3. 糊化特性

1.3.4. 貫入特性

1.3.4.1. 硬さ

1.3.4.2. 「こし」

1.3.5. 原材料のアミロース／アミロペクチン含量

1.3.6. 原材料の粒子径分布

1.3.7. 原材料および乾麺の構造

1.3.8. 官能評価

1.3.8.1. むらし操作導入による嗜好性 (5段階評点法)

1.3.8.2. エステル化タピオカ澱粉混合濃度の妥当性 (順位法)

1.4. 小括

1.1. 緒言

資源の有効活用および地球温暖化防止の観点から、省エネルギー対策が重要課題とされている。家庭での調理に伴う二酸化炭素排出量の削減においては、熱源の部分での削減量が最大であることが明らかとなっている^{61),62)}。麺のゆで操作中における余熱利用がマスメディア等で紹介されているが、効果を検討した研究はこれまでに見当たらない。

近年は、調理時間の短い細いうどんが好まれる傾向にある^{39)~41)}。また、うどんのおいしさには、食した時の物性が大きく関与する^{24),25)}。ソフトでこしや弾力があり、なめらかなテクスチャーが好まれ^{26),27)}、そのテクスチャーには、澱粉の粒子径や粒形態、構成成分、麺の構造が大きく関わる^{21),30)~32)}。そのため、調理性改善や食感改良の目的で麺にさまざまな澱粉を混合する工夫がみられるが^{24),25),27),39),42)}、特に、キャッサバを原料とするタピオカ澱粉の使用頻度が高い⁴³⁾。乾麺への混合では、天然澱粉よりも糊化温度が低く、調理時間の短縮が期待できるエステル化タピオカ澱粉が広く用いられている⁴³⁾。エステル化タピオカ澱粉を混合したうどんは、なめらかでやわらかな弾力ある食感が好まれる。しかし、好ましい食感を示す一方で、タピオカ澱粉の吸水膨潤力が大きい特性により²⁷⁾、ゆでのびしやすい欠点がある⁵⁰⁾。

本章では、これまでゆでのびの原因とされてきたタピオカ澱粉の吸水膨潤力の大きさと、エステル化澱粉の糊化温度の低さ、やわらかな弾力が、省エネルギー対策としての余熱利用調理に有効ではないかと考えた。また、余熱利用調理には、細い形状の麺が伝熱において適すると考えた。そこで、細い形状の小麦粉乾麺およびエステル化タピオカ澱粉混合乾麺の調製時に、ゆで時間を短縮して、消火後の余熱を利用したむらし調理を導入し、麺の物性、糊化特性、嗜好性に与える効果を検討した。

1.2. 実験方法

1.2.1. 試料の調製

1.2.1.1. 原材料

中力小麦粉は、近畿製粉(株)製の「ゴールドマーガレット」(澱粉含量77%)、エステル化タピオカ澱粉は、松谷化学工業(株)製の「松谷さくら」(酢酸澱粉、エステル化度DS=0.02)であった。

1.2.1.2. 乾麺

東亜食品工業(株)製の市販の小麦粉乾麺(以下、WFd)とエステル化タピオカ澱粉混合乾麺(以下、ETSd)を用いた。WFdは、中力小麦粉100%、ETSdは、中力小麦粉94%とエステル化タピオカ澱粉6%の混合であった。WFd、ETSdの製造方法は以下のとおりであった。室温23℃で、原材料300kgに、3.6%(w/w)の食塩水を120kg加え、20分間ミキシングした。60分間ドウを熟成してから、60分間麺帯巻取り熟成し、2.2mm厚に麺帯を圧延して、3.0mm幅に切断した。切断したドウは、24℃、R.H.80%で2.5時間予備乾燥、25℃、R.H.75%で6時間本乾燥、23℃、R.H.50%で2.5時間もどし乾燥してから、210mm長に裁断し、乾麺とした。

1.2.1.3. 加熱試料

Table 1-1の条件で、10種類の加熱試料を調製した。調製は、いずれも室温(23±2℃)にて行った。ステンレス鋼製鍋(直径27cm、容量5L)にイオン交換水2Lを入れ、電磁調理器(株東芝製、MR-T1、100V仕様)を用いて、水温25℃から蓋をして強火で加熱を開始した。沸騰状態が安定する加熱開始から12分後に乾麺40gを4束同時に投入した。その後、WF10+0とETS10+0については、蓋をせず強火のまま沸騰状態で10分間ゆでた。WF3+3、WF3+6、WF3+8、WF3+10、ETS3+3、ETS3+6、ETS3+8、ETS3+10については、蓋をせず強火のまま沸騰状態でWFdおよびETSdを3分間ゆでてから消火し、消火後は蓋をしてそれぞれ所定時間放置してむらした。いずれも、所定時間後直ちにゆで水から取り出し、ボウル中の20℃のイオン交換水2Lに20秒間浸漬し冷却してから、ざるにあげ、余分な水分を切った⁶³⁾。冷却して余分な水分を切った直後のものを加熱試料とした。

Table 1-1. Cooked noodles used in this study

Method for sample preparation	Name of test run		Total cooking time (min)
	WF	ETS	
Boiled for 10 min	WF10+0 (Control)	ETS10+0 (Control 2)	22(=12+10+0)
Boiled for 3 min + standing for 3 min	WF3+3	ETS3+3	18(=12+3+3)
Boiled for 3 min + standing for 6 min	WF3+6	ETS3+6	21(=12+3+6)
Boiled for 3 min + standing for 8 min	WF3+8	ETS3+8	23(=12+3+8)
Boiled for 3 min + standing for 10 min	WF3+10	ETS3+10	25(=12+3+10)

WF: noodles prepared with 100% wheat flour.

ETS: noodles prepared with 94% wheat flour and 6% esterified tapioca starch.

Total cooking time: boiled water for 12 min plus additional boiling and standing time.

1.2.2. 測定方法

1.2.2.1. 形状および一般成分

乾麺および加熱試料の形状は、単軸圧縮・引張型レオメータ（(株)山電製，レオナーRE-3305）の厚さ計を用いて測定した。

また、乾麺の一般成分を測定した。水分は、赤外線水分計（(株)ケツト科学研究所製，FD-600）を用いて、乾麺5.0 gを110℃，60 分間の条件で、赤外線加熱乾燥法により測定した。たんぱく質はケルダール法，脂質は酸分解法，灰分は直接灰化法，炭水化物は差し引き法により求めた。

1.2.2.2. 加熱試料調製中の水温変化

ポータブル温度計（ハンナインスツルメンツジャパン(株)製，HI9063）を用いて、加熱試料調製中の水温変化を測定した。

1.2.2.3. 加熱試料調製中の消費電力量

電力計（日置電機(株)製，3168）を使用して，1 分間隔で電力を測定した。その結果から，(1) 式を用い，消費電力量を算出した。

$$\text{消費電力量 (Wh)} = \text{消費電力 (W)} \times \text{時間 (h)} \dots (1)$$

1.2.2.4. 糊化特性^{64),65)}

原材料，乾麺，加熱試料の糊化特性を，示差走査熱量測定（DSC）により検討した。乾麺と加熱試料は，以下の方法により粉末脱水試料とした。乾麺はミル（岩谷産業(株)製，IFM - 800）で摩砕した。加熱試料は調製冷却後，イオン交換水を加えてホモジナイザー（イカジャパン(株)製，ウルトララックス T - 25 ベーシック）で磨砕した。その後，エタノール（ナカライテクス(株)製，試薬一級）で脱水を3 回繰り返した後，アセトン（和光純薬工業(株)製，試薬一級）で完全に脱水，脱アルコール処理をし⁶⁶⁾，ろ紙（東洋濾紙(株)製，No. 2）を通して粉末脱水試料とした。銀製密封容器（容量 70 μL）に原材料，乾麺および加熱試料の粉末脱水試料 10 mg を量りとり，イオン交換水 40 mg を加えて密封し，1 時間静置した。これを，DSC（セイコーインスツル(株)製，DSC - 6100 型）にセットし，1℃/min の速度で，25 ～140℃の温度範囲で昇温測定を行った。リファレンスはイオン交換水とした。得られた DSC 曲線（Fig. 1-1）から，糊化開始温度（ T_0 ），糊化ピーク温度（ T_p ），糊化終了温度（ T_c ），試料乾物重量当たりの糊化エンタルピー（ ΔH ）を求めた。中力小麦粉については，澱粉成分含量が 77%であったことより，単位澱粉重量当たりの ΔH を換算して求めた。また，加熱調理時間の糊化に対する影響を検討するために，加熱試料の糊化度を（2）式により算出した。

$$\text{糊化度 (\%)} = (E_{100} - E_x) / E_{100} \times 100 \dots (2)$$

E_{100} : 乾麺糊化エンタルピー (J/g dry matter),

E_x : 加熱試料糊化エンタルピー (J/g dry matter)

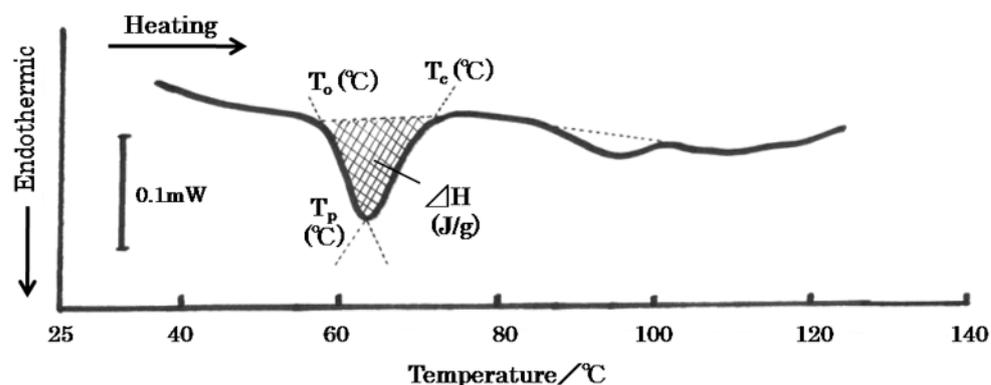


Fig. 1-1. Typical heating DSC curve

To: the onset gelatinization temperature.

Tp: the peak gelatinization temperature.

Tc: the conclusion gelatinization temperature.

ΔH : endothermic enthalpy of gelatinization.

1.2.2.5. 貫入特性

加熱試料を調製後直ちに約 3 cm の長さに切断し、測定に供した。直径 3.0 mm の円筒型ポリアセタール樹脂製貫入プランジャー (No. 4) およびロードセル 1.96 N を装着した単軸圧縮・引張型レオメータ (株式会社山電製, レオナーRE - 3305) を用いて、貫入速度 1.0 mm/s で、試料の高さの 95% まで貫入した。1 つの試料につき試料片 5 個以上を 3 回調製し、合計試料片数を 15 個以上とした。

1.2.2.6. 原材料のアミロース/アミロペクチン含量⁶⁷⁾

中力小麦粉、エステル化タピオカ澱粉のアミロース/アミロペクチン含量を、アミロース/アミロペクチン測定キット (Megazyme 社) を用いて、プロトコールに従って測定した。

1.2.2.7. 原材料の粒子径分布

レーザー回折散乱式粒子径・粒度分布測定装置 (LEEDS & NORTHRUP 製, Microtrac FRA Version 10.4.0 - 225F) を用いて、中力小麦粉、エステル化タピオカ澱粉の粒子径分布を測定した。超音波発生装置 (株式会社日本精機製作所製, US-150T) で 1 分間イオン交換水中に分散させた原材料を測定に供した。粒子径基準は体積基準とし、スターチ粒子屈折率は 1.53 とした⁶⁸⁾。

1.2.2.8. 原材料および乾麺の構造観察 (SEM)

中力小麦粉, エステル化タピオカ澱粉, WFd, ETSdを, 両面テープを貼った試料台に置き, 蒸着装置 (日本電子(株)製, MP - 19010NCTR) で金を蒸着後, 走査型電子顕微鏡 (日本電子(株)製, JCM-5000) を用いて, 高真空モード, 加速電圧10 kV, 倍率1000倍の条件で性状観察を行った。画像計測合成ソフト (ケニス(株)製, フォトメジャーVer. 2) を用いて, 観察画像中の澱粉粒子径と澱粉粒子間の隙間面積を計測した。

1.2.2.9. 官能評価

むらし操作を導入した場合の嗜好性を判断するために, 5段階評点法 (1~5点)⁶⁹⁾ による「総合的な好ましさ」についての官能評価を行った。評価は, 室温 (25℃) において行った。パネルは, 兵庫県立大学の教員及び学生 31名 (男性 3名, 女性 28名, 年齢 22.0 ± 3.1 歳) とした。WF10+0, WF3+6, WF3+8, WF3+10, ETS3+6, ETS3+8, ETS3+10 の 7種類の加熱試料を用いた。WF3+3 および ETS3+3 は, 予備評価より食用に適さないと判断し, 官能評価用の試料から除いた。ETS10+0 は, むらし操作を導入した場合の嗜好性の検討には不要と考え, 官能評価用の試料から除いた。加熱試料を調製冷却後直ちに, WF10+0 の麺線を三本と WF3+6, WF3+8, WF3+10, ETS3+6, ETS3+8, ETS3+10 の麺線を一本ずつ (約 3 g, 約 21 cm) 皿に並べて提示した。WF10+0 (3点) に対する相対評価とした。

エステル化タピオカ澱粉混合濃度の妥当性を判断するために, 順位法による「総合的な好ましさ」についての官能評価を行った。パネルは, 兵庫県立大学の学生 32名 (男性 7名, 女性 25名, 年齢 22.5 ± 2.1 歳) とした。エステル化タピオカ澱粉を 4%, 6%, 10%, 15%混合した乾麺を市販乾麺と同じ製法により作成し, 3分間ゆでた後, 6分間むらした 4種類の試料を用いた。試料を調製冷却後直ちに, 4種類の麺線を三本ずつ皿に並べて提示した。

1.2.2.10. 統計解析

貫入特性および順位法による官能評価の統計解析には, 統計ソフト (エス・ピー・エス・エス(株)製, SPSS Statistics 17.0) を使用した。5段階評点法による官能評価の統計解析には, 表計算ソフト (日本マイクロソフト(株)製, Microsoft Excel 2007) を使用した。有意水準は 5%とした。

貫入特性値は, 試料を要因として一元配置の分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には, その後の検定として Tukey の HSD の方法による多重比較を行った。

5段階評点法による官能評価値は, 試料とパネルを要因として, 二元配置の分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には, スチューデント化された範囲の表を用いて t 検定を行った。

順位法による官能評価値は, フリードマンの検定を行った。試料間に有意差が認められた場合には, Bonferroni の補正ありで Wilcoxon の符号付き順位検定による多重比較を行った⁷⁰⁾。

1.3. 実験結果

1.3.1. 形状および一般成分

乾麺の原材料混合率，形状および一般成分は Table 1-2 のとおりであった。
加熱試料の形状は Table 1-3 のとおりであった。

Table 1-2. Dried noodles used in this study

Dried noodles	WFd	ETSd
Mixing ratio of materials	Wheat flour 100%	Wheat flour 94% + Esterified tapioca starch 6%
Thickness × width × length (mm)	2.0 × 2.9 × 210	1.6 × 3.0 × 210
Moisture content (%)	11.1	12.3
Carbohydrate (%)	72.7	70.9
Protein (%)	8.8	7.8
Lipid (%)	1.4	1.1
Sodium (%)	1.5	1.4

Table 1-3. Thickness and width of cooked noodles

Test run	Thickness (mm)	Width (mm)
WF10+0	2.2±0.1	4.5±0.2
WF3+3, WF3+6, WF3+8, WF3+10	2.1±0.1	—
ETS10+0	2.4±0.1	4.7±0.1
ETS3+3, ETS3+6, ETS3+8, ETS3+10	2.2±0.1	—

n≥16.

—: non-measured. Over 3 mm was verified.

1.3.2. 加熱試料調製中の水温変化および消費電力量

加熱試料の調製条件は予備実験より決定した。加熱時間について、ゆで時間が 0, 1, 3 分間の場合を検討し、適宜余熱を利用したむらし時間を設定した。その結果、ゆで時間が 0, 1 分間の場合は、ゆで加工に用いた水の対流が少ないために伝熱が不十分で、麺同士が付着しやすく食用に適さなかった。そこで、むらし操作を導入する場合のゆで時間は 3 分間に設定した。また、調理中の消費電力量削減のためには、むらし操作を導入するだけでなく、ゆで操作中の火力を弱めることも有効である。しかし、ゆで操作中に蓋をせず火力を弱めたところ、100℃での沸騰状態が安定しなかったため、強火のまま沸騰状態を継続させることとした。

加熱試料調製中の水温変化を Fig. 1-2 に示す。消火してむらし操作を開始すると同時に水温は低下し続け、消火 10 分後には 84.3℃となった。

加熱試料の調製に伴う消費電力量を Table 1-4 に示す。ゆで操作のみの試料では 448Wh, むらし操作を導入した試料では 306Wh であった。したがって、むらし操作の導入により、32%の消費電力量を削減できた。

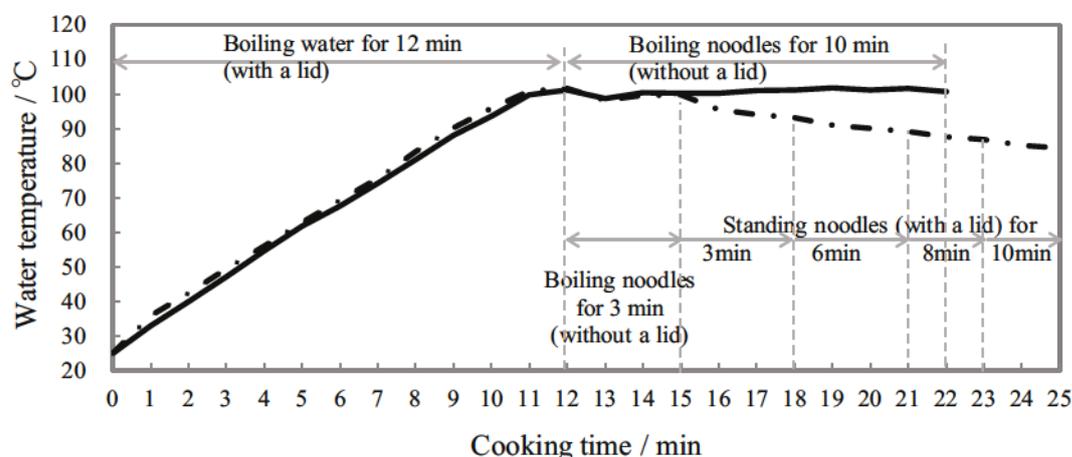


Fig. 1-2. Water temperature during cooking

——, Boiling only; — . —, Boiling and standing.

2L ion-exchanged water + 160 g noodle in a stainless pot (capacity, 5L) at room temperature ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Table 1-4. Electricity consumption per a preparation

Test run	Electricity consumption per a preparation (Wh)
WF10+0, ETS10+0	448
WF3+3, WF3+6, WF3+8, WF3+10	306
ETS3+3, ETS3+6, ETS3+8, ETS3+10	

1.3.3. 糊化特性

原材料 20% (w/w)分散液の昇温 DSC 曲線を Fig. 1-3 に示す。また、乾麺および加熱試料 20% (w/w)分散液の昇温 DSC 曲線を Fig. 1-4 に示す。DSC 曲線においては、53~76°Cの範囲に澱粉の糊化による第 1 吸熱ピークと、86~101°Cの範囲にアミロースと脂質の複合体の融解による第 2 吸熱ピークが見られた^{71),72)}。澱粉の糊化によるうどんの物性への影響を検討したいため、第 1 吸熱ピークを比較した。

一般に、小麦粉の糊化温度は 51.6~67.6°C⁴⁸⁾、タピオカ澱粉の糊化温度は 50.6~72.8°C⁴⁹⁾とされている。本章の中力小麦粉およびエステル化タピオカ澱粉は、一般の小麦粉およびタピオカ澱粉と同程度の糊化温度であった。中力小麦粉 100%とエステル化タピオカ澱粉 100%を比較すると、エステル化タピオカ澱粉 100%の方が、糊化温度が高く、糊化エンタルピーが大きかった。中力小麦粉の澱粉含量が 77%であったことから、中力小麦澱粉 1 g あたりの糊化エンタルピーを算出したところ、5.94 J/g であった。澱粉 1 g あたりでも、中力小麦澱粉の糊化エンタルピーはエステル化タピオカ澱粉の糊化エンタルピー (9.93 J/g) よりも小さかった。ETSd の原材料である中力小麦粉 94%+エステル化タピオカ澱粉 6%は、WFd の原材料である中力小麦粉 100%よりも、糊化ピーク温度および糊化終了温度が高く、糊化エンタルピーが大きかった。

中力小麦粉 94%+エステル化タピオカ澱粉 6%の糊化エンタルピーは、測定値は 5.09 J/g であり、中力小麦粉 100%およびエステル化タピオカ澱粉 100%の糊化エンタルピーの測定値からの理論値は 4.90 J/g であった。多糖類混合系において、相互作用の発現が知られているが⁷³⁾、中力小麦粉 94%とエステル化タピオカ澱粉 6%の混合では、測定値と理論値が同程度であったため、相互作用はほとんどなかったと考えられる。

乾麺の WFd と ETSd を比較すると、糊化温度はほとんど同じであり、糊化エンタルピーはわずかに ETSd の方が大きかった。エステル化タピオカ澱粉の混合が 6%の条件では、エステル化タピオカ澱粉混合による乾麺の糊化特性への影響は小さかった。また、WFd, ETSd とともに、原材料よりも、糊化開始温度および糊化ピーク温度が高かった。製麺により澱粉粒子の凝集が起こり、粒子間への水の浸入が阻害された⁷⁴⁾と推察される。DSC 測定に供するために、麺をミルで磨砕したが、その磨砕後の粉体の状態も、原材料の粉体よりも粒子が凝集した状態にあったと考えられる。

加熱試料の糊化開始温度は、むらし時間が同じ場合に、ETS よりも WF の方が低く、むらし時間が長くなるにつれて WF, ETS とともに高くなった。本章では、鍋での加熱試料調製時に糊化しなかった部分を DSC 測定において糊化させた。また、小麦澱粉の大粒子は小粒子よりも糊化温度が低い^{75),76)}とされている。したがって、加熱試料の糊化開始温度が高いことは、鍋での加熱試料調製時に、小麦澱粉の大粒子がすでに糊化を終えていたことを示すと考えられる。

加熱試料の糊化終了温度は、いずれも 68~71°C であった。むらし 10 分間後でも加熱試料を調製した水温は 84.3°C であり、糊化終了温度よりも高かったため、

むらし操作を導入した場合でも糊化が進行できる水温を維持した。

加熱試料の糊化度の結果より、ゆでのみの調理である WF10+0 および ETS10+0 は、いずれもほぼ完全に糊化した。むらし操作を導入すると、ETS3+10 のみが完全に糊化した。むらし時間が 3 分間および 6 分間では、糊化度は WF の方が ETS よりも大きく、8 分間では同程度であり、10 分間では ETS の方が WF よりも大きかった。すなわち、WFd は、ETSd よりも先に糊化が進行したが、むらし時間が 8 分間以上で糊化が進行できる水温があったにも関わらず糊化が進行しなくなったのに対し、ETSd は、WFd よりも糊化の開始は遅れるが、次第に糊化が進行し続け、完全に糊化した。

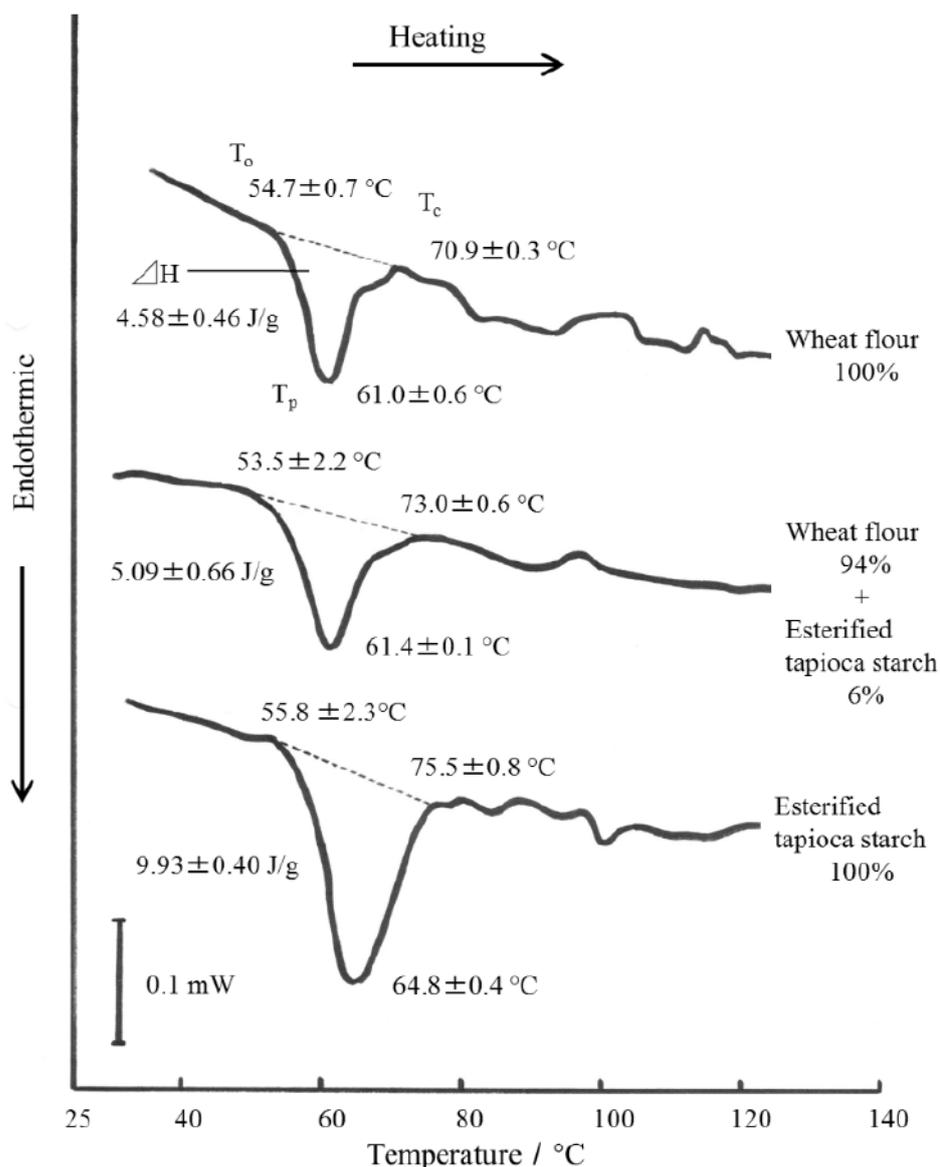


Fig. 1-3. DSC heating curve, gelatinization temperature (T_o : onset, T_p : peak, T_c : conclusion) and endothermic enthalpy of gelatinization per g of samples (ΔH) of materials

Heating rate: $1^\circ\text{C}/\text{min}$. $n \geq 2$. 20% (w/w).

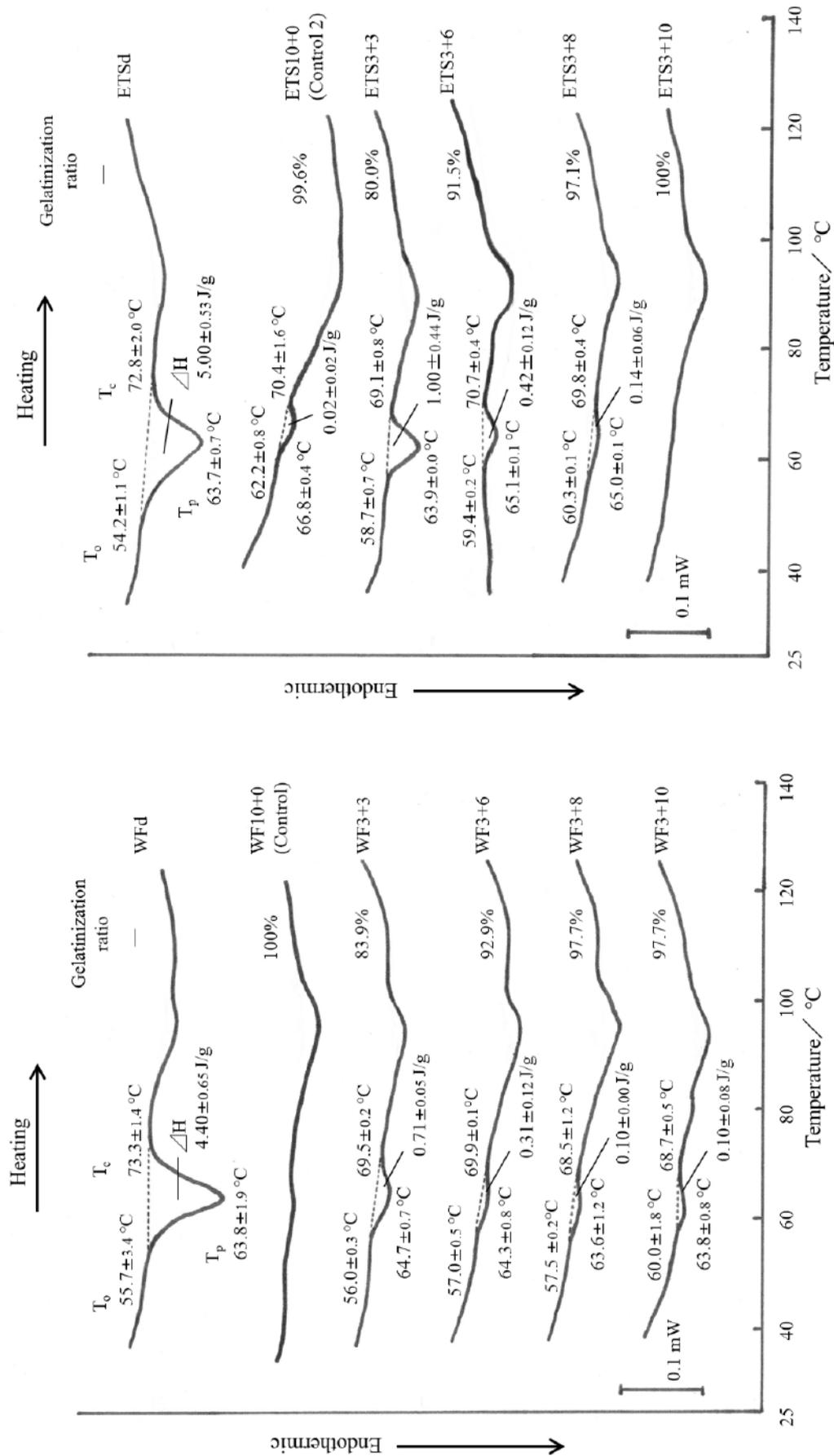


Fig. 1-4. DSC heating curve, gelatinization temperature (T_o onset, T_p peak, T_c conclusion) and endothermic enthalpy of gelatinization (ΔH) and gelatinization ratio of dried noodles and cooked noodles
 Heating rate: 1 °C /min. $n \geq 2$. 20% (w/w).

1.3.4. 貫入特性

1.3.4.1. 硬さ

得られた貫入曲線を Fig. 1-5 に示す。WF3+3 では貫入歪 0.88 において、ETS3+3 では貫入歪 0.87 において破断点がみられた。しかし、目視により麺構造が壊れた様子は観察されなかった。したがって、むらし時間が 3 分間では加熱が不十分で特に中心部分がかなり硬く、加熱試料がプランジャー底面と側面に受けた貫入抵抗が大きすぎたために見かけの破断点が現れたと考えられる。また、WF10+0、WF3+6、WF3+8、WF3+10、ETS10+0、ETS3+6、ETS3+8 および ETS3+10 では、明確な破断点がなく、麺の表面から麺線内部の各部位による荷重の差が見られた。うどんは、水分勾配による硬さの不均一性が特徴的な食品であるが^{22),23)}、不均質試料の貫入曲線は各部位ごとの硬さを連続的に示す⁷⁷⁾。そこで、「破断強度解析 Ver1.0」を用いて、貫入歪 0.2、0.5、0.6、0.8 および 0.95 の 5 点における荷重を求めた。そして、麺の表面から麺線内部の各部位による硬さの違いを検討するために、阿部らの方法^{78),79)}に従い、これらの値をそれぞれ比較した。阿部らの方法では、麺の表面、中間、中心部の硬さを調べるために麺の圧縮歪 3 点の測定を行い比較している。

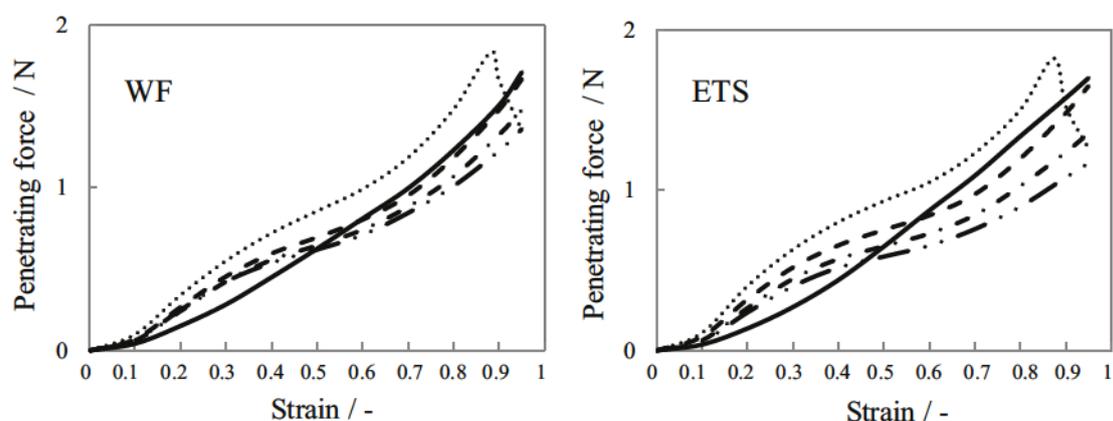


Fig. 1-5. Penetrating force–strain curve of noodles

————, Boiling for 10 min (10+0).

....., Boiling for 3 min + standing for 3 min (3+3).

-----, Boiling for 3 min + standing for 6 min (3+6).

- . - . - ., Boiling for 3 min + standing for 8 min (3+8).

- - - - -, Boiling for 3 min + standing for 10 min (3+10).

Crosshead speed: 1.0 mm/s. Plunger: $\phi=3.0$ mm.

Measurement temperature: 23 ± 2 °C. $n \geq 16$.

All samples were removed from the boiling water after their respective time, cooled for 20 s in ion-exchanged water (2 L) at 20 °C, and drained off excess water with a basket.

Samples of cooked noodles were provided immediately.

貫入歪 0.2, 0.5, 0.6, 0.8, 0.95 の 5 点における荷重を Fig. 1-6 に示す。むらし操作導入の影響を検討するために、各貫入歪における WF10+0 と各加熱試料の荷重を比較した。貫入歪 0.2 では、WF10+0 が他のすべての試料よりやわらかかった。これは、WF10+0 では加熱試料調製中の水温が低下しないため、麺表面の糊化が最も十分に進んだためと考えられる。また、むらし時間が 3 分間の WF3+3 と ETS3+3 は、表面近くも十分に糊化が進行していないことから、かなり硬かったことが考えられる。

貫入歪 0.5 における、WF3+8, ETS3+8, WF3+10 および ETS3+10, 貫入歪 0.6, 0.8, 0.95 における WF3+6 および ETS3+6 は、WF10+0 との間で硬さに差がなかった。全加熱時間は、むらし 6 分間, 8 分間, 10 分間でそれぞれ、9 分間, 11 分間, 13 分間となるので、むらし操作を導入した WF と ETS でも、ゆでのみの調理である WF10+0 と近いトータル 10 分間ほどで同程度の硬さが得られたと言えた。特に、試料を最大限に押しつぶす時の性質が、人の咀嚼初期の力に最も影響する⁸⁰⁾ことが報告されている。したがって、貫入歪 0.95 における荷重の結果から、WF3+6 および ETS3+6 が WF10+0 と同等の硬さであると人には感知されると考えられる。

各貫入歪における WF と ETS を比較した。WF は、貫入歪 0.2 ではむらし時間が 6 分間以上で、他の貫入歪ではむらし時間が 8 分間以上で硬さに変化が見られなくなった。一方、ETS は、貫入歪 0.2 ではむらし時間が 8 分間以上で硬さに変化が見られなくなったが、他の貫入歪では、むらし時間が長くなるほどだんだんやわらかくなった。むらし時間が 3 分間および 6 分間では、ETS より WF の方がやわらかい傾向にあり、その傾向は貫入歪が小さいほど、つまり麺の表面に近いほど大きかった。一方、むらし時間が 8 分間, 10 分間と長くなると、WF より ETS の方がやわらかくなる傾向にあった。これらは、糊化特性の結果と一致した。すなわち、WFd は糊化が途中で進行しなくなり硬さが変化しなくなったのに対し、ETSd は WFd よりも糊化の開始は遅れるが、次第に糊化が進行しやわらかくなったことが示された。

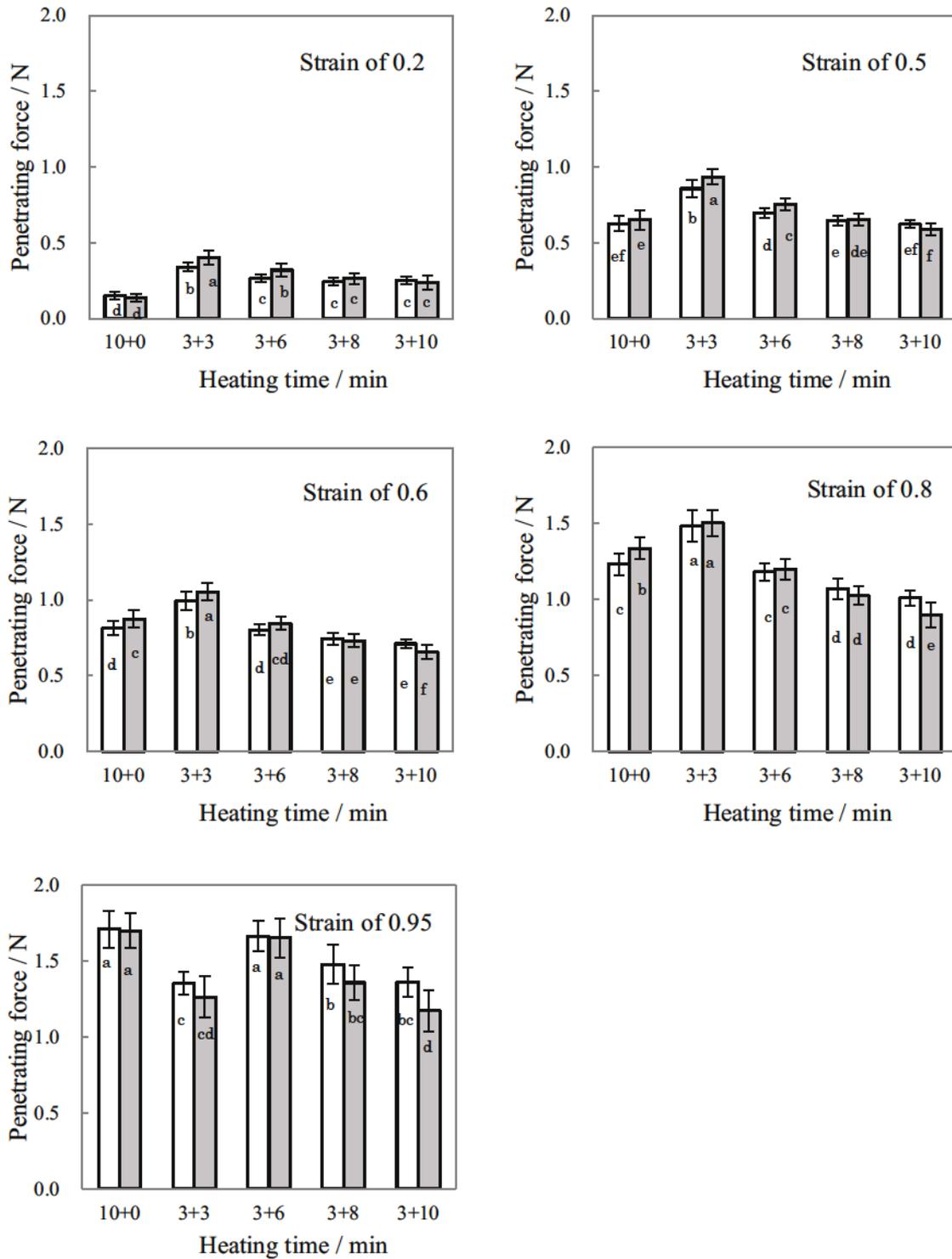


Fig. 1-6. Penetrating force of noodles

□, WF; ■, ETS.

Crosshead speed: 1.0 mm/s. Plunger: $\phi=3.0$ mm.

Measurement temperature: 23 ± 2 °C. $n\geq 16$.

Values followed by a different letter are significantly different ($p<0.05$).

1.3.4.2. 「こし」

麺の質的評価として「こし」を評価するために、四宮の方法²²⁾を参考に、貫入エネルギーと、貫入曲線を歪 0.01 毎で差分した貫入力変化率を算出した。「こし」は、麺の硬さや粘弾性、硬さの不均一性を複合的に含んだ食感を表す言葉である²²⁾。Fig. 1-7 に、四宮の研究と本章における歪 0.01 毎の差分曲線を示す。四宮の方法では、明確な破断点がみられ、破断エネルギーおよび応力変化率の（最高値－破断開始値）が「こし」の定量化に有効であったとしている²²⁾。本章では、明確な破断点がみられなかったため、貫入力変化率の（最高値－破断開始値）を算出することはできなかったが、貫入力変化率は弾性率に相当している²²⁾ ことや、高澤ら⁸¹⁾は貫入力変化率の波形から食品を噛み込む間の物性変化の検討を行っていることから、貫入力変化率の波形は噛み込む間の「こし」の状態の推察に有効であると考える扱った。

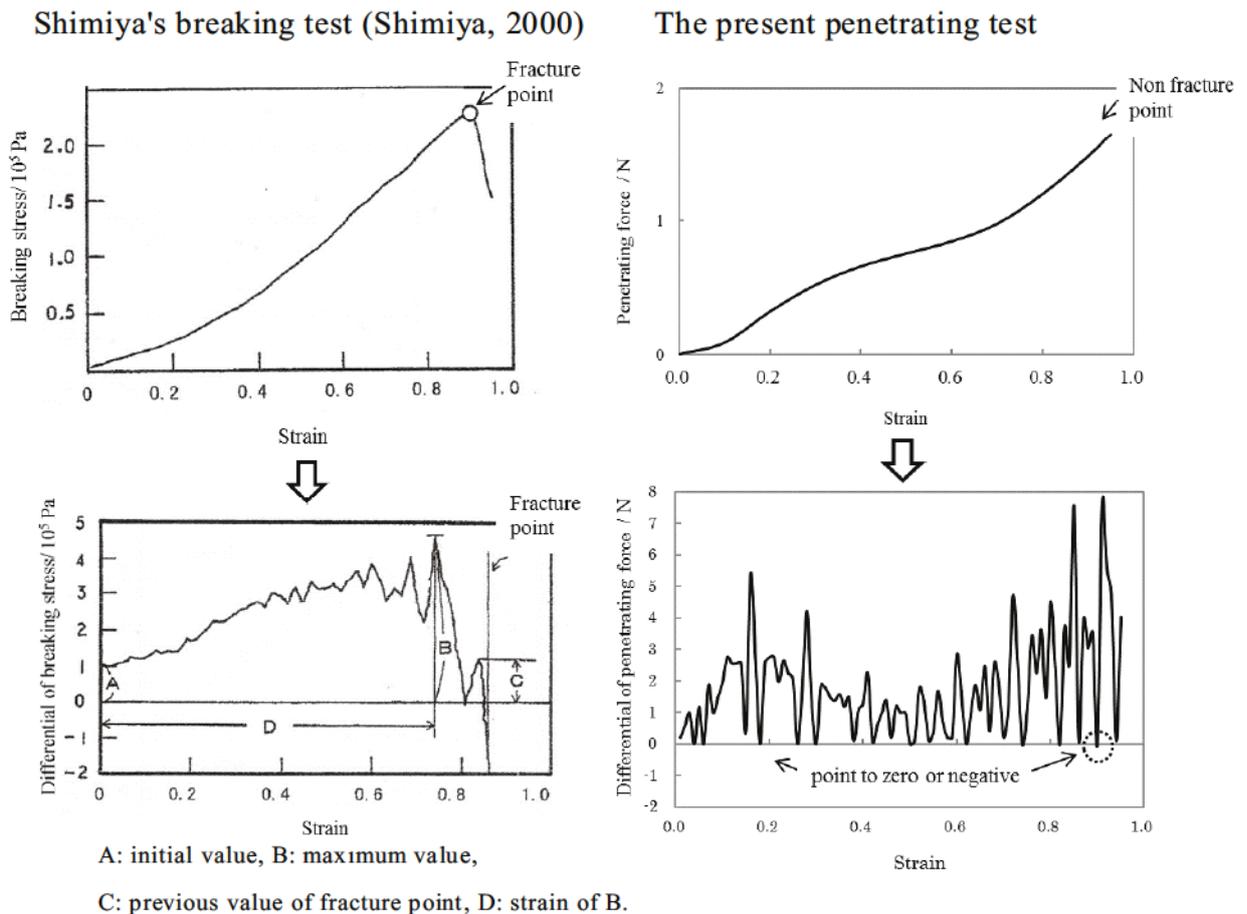


Fig. 1-7. Differential per unit strain for Koshi evaluation

Koshi is a Japanese term with multiple meanings that can refer to 'moderate hardness', 'elasticity (or springiness)', and 'non-uniformity of surface and interior hardness' of noodles.

Graphs show typical curves.

貫入エネルギー²²⁾の結果を Fig. 1-8 に、貫入曲線を歪 0.01 毎で差分した貫入力変化率曲線を Fig. 1-9 に、貫入力変化率曲線における 0 以下への下降点の数を Table 1-5 に示す。

むらし操作を導入した加熱試料の貫入エネルギーを WF10+0 および ETS10+0 と比較すると、WF3+6 および WF3+8 は有意差がなく、ETS3+6 は有意に大きな値を示し、それ以外の試料は、有意に小さな値を示した。したがって、むらし操作を導入した場合、WF3+6 および WF3+8 はゆでのみと同程度のこしであったと言える。ETS3+6 は、貫入歪 0.95 における荷重の結果より、硬さの程度はゆでのみと同程度であったが、こしはゆでのみよりも強かったと考えられる。

貫入力変化率の分布は、WF と ETS で異なり、ゆでのみとむらし操作導入でも異なっていた。四宮は、応力変化率の増加は、咀嚼過程で力を入れ続けることを意味し、硬さおよび噛み切りにくいテクスチャーを表すことを、逆に、応力変化率の減少は咀嚼過程で力を抜くことを意味し、軟らかい、もろい感覚につながることを報告している²²⁾。また、本章では 0 およびマイナス領域への下降点がみられた。0 への下降点は、弾性率が直前の歪と変わらず、噛む力が直前と同じであることを意味し、マイナス領域への下降点は、麺の内部構造の崩壊を意味すると考えられる。いずれの下降点も噛み進めやすいもろさを意味すると考えられるため、0 以下への下降点としてまとめて数値を計上した。

エステル化タピオカ澱粉混合の影響について、WF10+0 と ETS10+0 を比較すると、WF10+0 では、最大貫入時の直前付近で急激な変化率の増加が見られたことから、局在集中的に強い噛みごたえを感じる麺であると考えられる。それに対し、ETS10+0 は、貫入歪の増加に伴い、徐々に変化率が増加していく途中で、突出した値を示すことを何度も繰り返したことから、点在する強い噛みごたえを感じる麺であると考えられる。むらし操作を導入した各加熱試料についても、WF では見られない波形中の突出した値が ETS では見られ、この突出した値を示すことがエステル化タピオカ澱粉を混合した麺の特徴であると考えられる。

むらし操作を導入した影響について、ゆで試料と、むらし操作を導入した各加熱試料の波形を比較すると、WF, ETS のいずれにおいても、ゆでのみの 10+0 では、歪の増加に伴い変化率が増加し、歪 0.8~0.9 付近で高い値を示した。それに対し、むらし操作を導入した試料では、歪 0.2 付近と、歪 0.8~0.9 付近の二ヶ所で高い値を示し、歪 0.5 付近では低い値を示した。むらし操作を導入した場合は、ゆでのみと比較し、加熱試料調製中に水温の低下が生じるため、麺線表面はこしが強いが、中心部はこしが弱くなると考えられる。また、むらし時間を長くすると、こしの分布の状態は WF, ETS それぞれにおいて変化しないが、貫入変化率の値は波形全体的に低下したことから、こしが弱くなったと考えられた。WF, ETS いずれも、10+0 と 3+6 の間で 0 以下への下降点に有意差がなかったことから、もろさの状態は変わらないと考えられた。

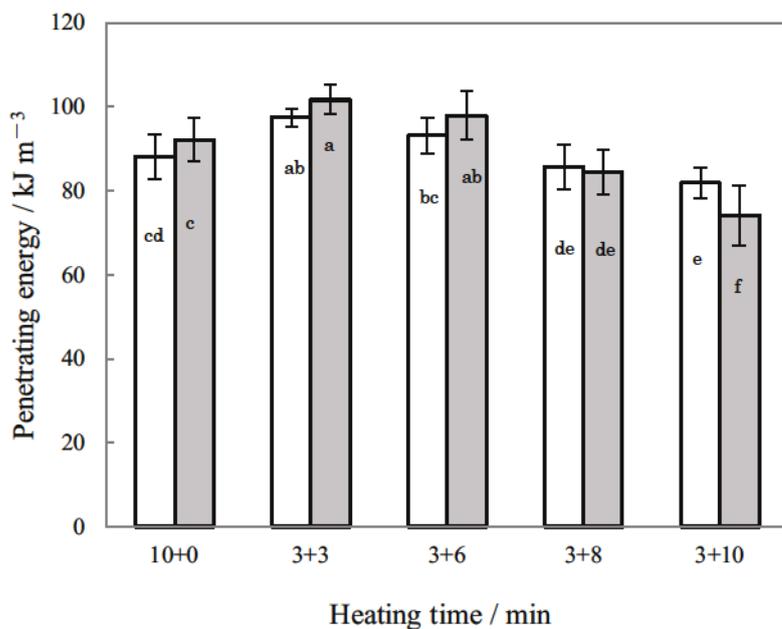


Fig. 1-8. Penetrating energy of noodles

□, WF; ■, ETS.

Crosshead speed: 1.0 mm/s. Plunger: $\phi=3.0$ mm.

Measurement temperature: 23 ± 2 °C. $n\geq 16$.

Values followed by a different letter are significantly different ($p<0.05$).

Table 1-5. Number of points falling to zero or negative for differential of penetrating force in cooked noodles

Test run	Number of points falling to zero or negative	Test run	Number of points falling to zero or negative
WF10+0	8.2 ± 2.1^c	ETS10+0	10.7 ± 2.3^{bc}
WF3+3	17.6 ± 3.4^a	ETS3+3	17.3 ± 3.6^a
WF3+6	10.8 ± 2.1^{bc}	ETS3+6	10.9 ± 2.0^{bc}
WF3+8	11.8 ± 2.4^b	ETS3+8	11.5 ± 2.1^b
WF3+10	12.2 ± 2.3^b	ETS3+10	11.9 ± 3.4^b

$n\geq 16$.

Values followed by a different letter are significantly different ($p<0.05$).

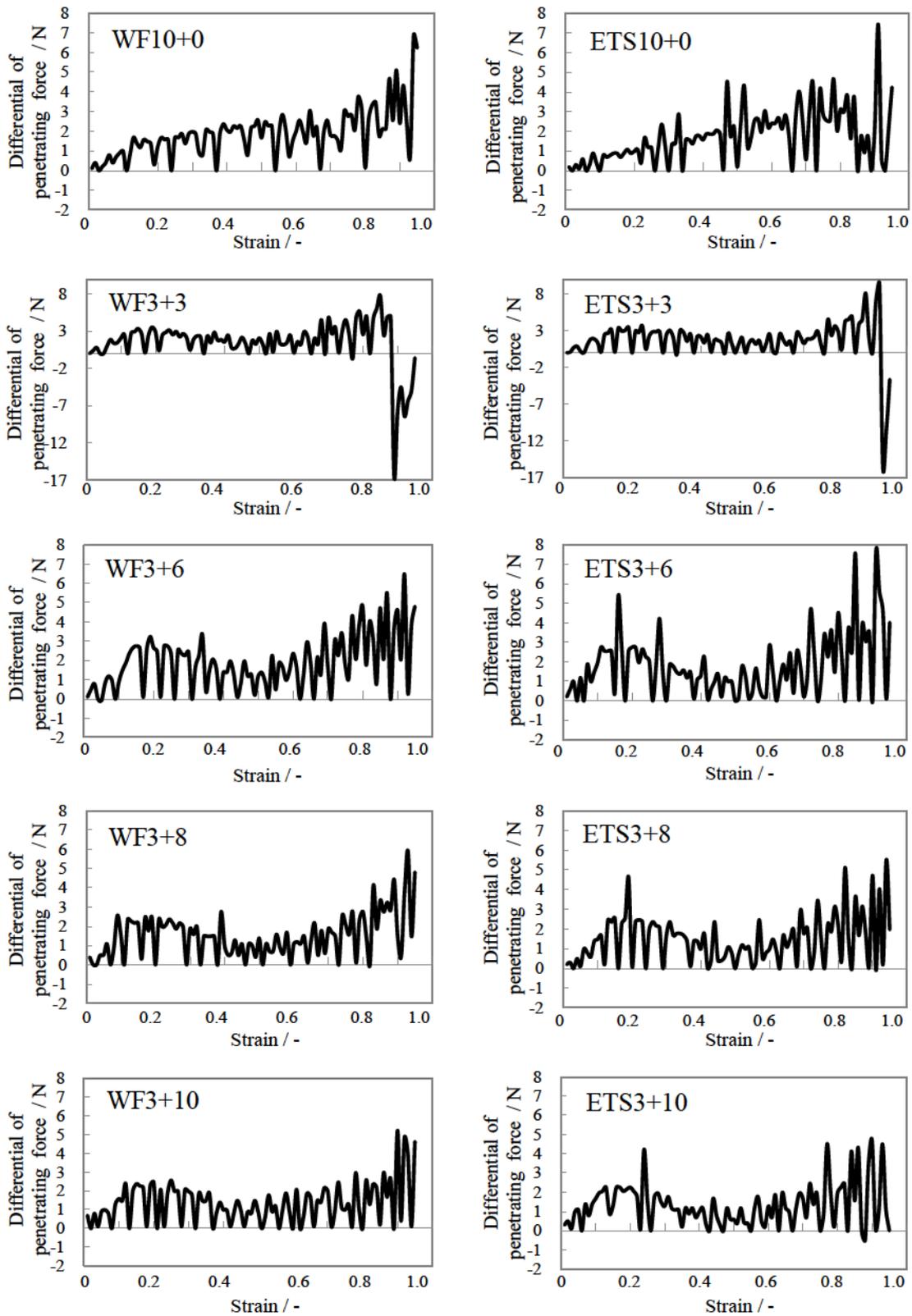


Fig. 1-9. Examples of differential curve per strain of 0.01 of force-strain curve in noodles

Crosshead speed: 1.0 mm/s. Plunger: $\varphi=3.0$ mm.

Measurement temperature: 23 ± 2 °C. $n \geq 16$.

1.3.5. 原材料のアミロース／アミロペクチン含量

中力小麦粉のアミロース／アミロペクチン含量は 27%/73%であった。エステル化タピオカ澱粉のアミロース／アミロペクチン含量は 24%/76%であった。

エステル化にはフリーな水酸基が利用され⁸²⁾、エステル化により α -1, 4 グリコシド結合や α -1, 6 グリコシド結合は切断されない。したがって、エステル化は、アミロース／アミロペクチン含量の値には影響しなかったと考えられる。

また、一般に、小麦粉のアミロース／アミロペクチン含量は 28%/72%、タピオカ澱粉のアミロース／アミロペクチン含量は 17%/83%とされている⁵¹⁾。本章の中力小麦粉、エステル化タピオカ澱粉はともに、一般的なものと同程度のアミロース含量であった。また、一般的なものと同様に、エステル化タピオカ澱粉は、中力小麦粉よりもアミロース含量が少なかった。うどんの原材料は、アミロース含量の低いものが適し、アミロース含量の少ない原材料を用いたうどんは、なめらかでやわらかな噛みごたえのある食味を示すことが報告されている^{30),33),35)~38)}。したがって、エステル化タピオカ澱粉のアミロース含量が中力小麦粉よりも少なかったことは、貫入特性において、加熱時間が長くなると ETSの方が WFよりもやわらかくなったことや、WFと ETSのこしの状態が異なったことに影響したと考えられる。

1.3.6. 原材料の粒子径分布

中力小麦粉とエステル化タピオカ澱粉の粒子径分布を Fig. 1-10 に示す。

中力小麦粉では、粒子径分布・D10 (10%粒子径) ~D90 (90%粒子径) が 5~46 μm であった。また、6 μm と 22 μm 付近の 2 つのピークが見られた (体積頻度分布)。一般に、澱粉粒子の粒子径は植物の成長とともに増大するので、多くの場合正規分布を示す。しかし、小麦澱粉では、澱粉粒子の粒子径分布が 0.5~45 μm と非常に幅広いが、0.5~10 μm の分布で重量平均粒子径約 6 μm の小粒子群と、10~45 μm の分布で重量平均粒子径約 24 μm の大粒子群がある二峰性の分布を示すことが特異的に知られている⁵¹⁾。

エステル化タピオカ澱粉では、50%粒子径・D50 (体積累積分布) が約 13 μm であり、粒子径分布・D10 (10%粒子径) ~D90 (90%粒子径) が約 9~19 μm であった。一般に、タピオカ澱粉の粒子径分布は 4~35 μm で、重量平均粒子径は 15 μm であると知られている^{45),51)}。本章のエステル化タピオカ澱粉は一般的なものと同程度の粒子径分布を示した。

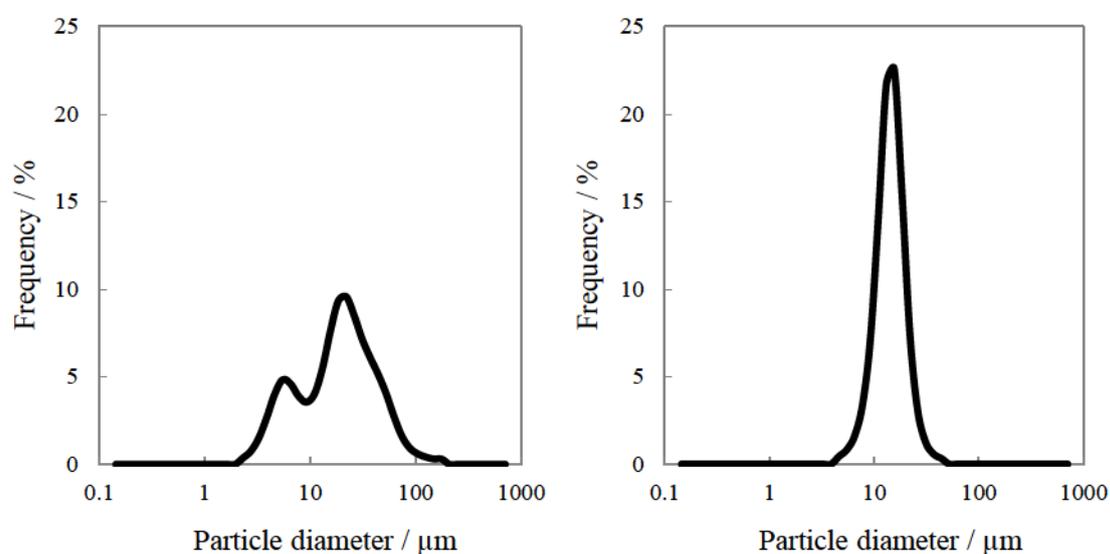


Fig. 1-10. Particle size distribution of wheat flour and esterified tapioca starch on a volume basis

Starch particle refractive index: 1.53.

1.3.7. 原材料および乾麺の構造

中力小麦粉とエステル化タピオカ澱粉の表面構造を Fig. 1-11 に示す。中力小麦粉では、3~10 μm 程度と 20~32 μm 程度の澱粉粒子が観察された。エステル化タピオカ澱粉では、5~16 μm 程度の澱粉粒子が観察された。したがって、いずれも粒子径分布で得られた結果と同様の分布が確認された。

WFd と ETSd の表面構造を Fig. 1-12 に示す。WFd の表面には、20 μm 程度の大粒子の隙間を、10 μm 程度の大きめの小粒子と 2~5 μm 程度の小さめの小粒子が埋めている様子が見られ、ETSd よりも隙間が狭かった。また、2~5 μm の小粒子の多くに損傷が見られた。ETSd の表面には、20 μm 程度の大粒子が多く、その隙間を、エステル化タピオカ澱粉と中力小麦粉からと考えられる小粒子が埋めている様子が見られたが、WFd に比べると中力小麦粉からの 2~5 μm 程度の小さめの小粒子が少ないため、WFd ほど隙間が密に埋められておらず、隙間が広がった。

うどんの組織構造は物性と関係が深い^{31,34)}ことが示されている。植物組織の吸水性は植物種により異なるが^{83)~85)}、澱粉粒子径や乾麺構造の状態も吸水性や糊化に関わる。そこで、原材料および乾麺表面の構造から、糊化に関わる WFd と ETSd の性質を以下のように推察した。

澱粉の粒子径と吸水率の関係について、粒子径が小さいほど単位面積あたりの表面積が大きくなるため吸水率は高くなる。本章では、吸水率は測定しなかったが、WFd と ETSd を比べると、ETSd の方が中力小麦粉からの大粒子が少なくなる分、全体的に粒子径の小さい澱粉の割合が高く、吸水率が高くなるものと考えられる。

澱粉の粒子径と糊化温度の関係については、小麦澱粉において、大粒子の方が小粒子よりも低い温度で糊化する^{75,76)}とされている。WFd と ETSd を比べると、WFd の方が中力小麦粉からの大粒子が多くなるため、WFd の方が先に糊化が進行すると考えられる。ただし、WFd では、表面構造の隙間が狭いため吸水が進みにくく、大粒子の十分な膨潤も抑制されるため、途中から糊化が進みにくくなると考えられる。対照の ETSd では、糊化が始まるのは WFd よりも遅いが、隙間が広い疎な構造であったため次第に吸水しやすく、大粒子の糊化が十分に進みやすいと考えられる。これらの推察は、糊化特性および貫入特性の硬さの結果において、WFd は糊化が途中で進行しなくなり硬さが変化しなくなったのに対し、ETSd は WFd よりも糊化の開始は遅れるが、次第に糊化が進行しやわらかくなったことと一致した。したがって、原材料のアミロース含量や起源植物種に特有な吸水性・糊化特性の違いに加え、乾麺構造が異なったことにより、WFd と ETSd は異なる糊化特性および貫入特性を示したと考えられる。

また、損傷澱粉と吸水率の関係について、損傷澱粉は吸水率が高い⁸⁶⁾ことが知られており、損傷澱粉が麺の吸水率に影響する⁸⁷⁾ことも報告されている。しかし、WFd では、小粒子に損傷が多く見られたが、大粒子の糊化も十分に進行しないため、損傷澱粉の吸水率に対する影響はほとんど表れなかったと考えられる。

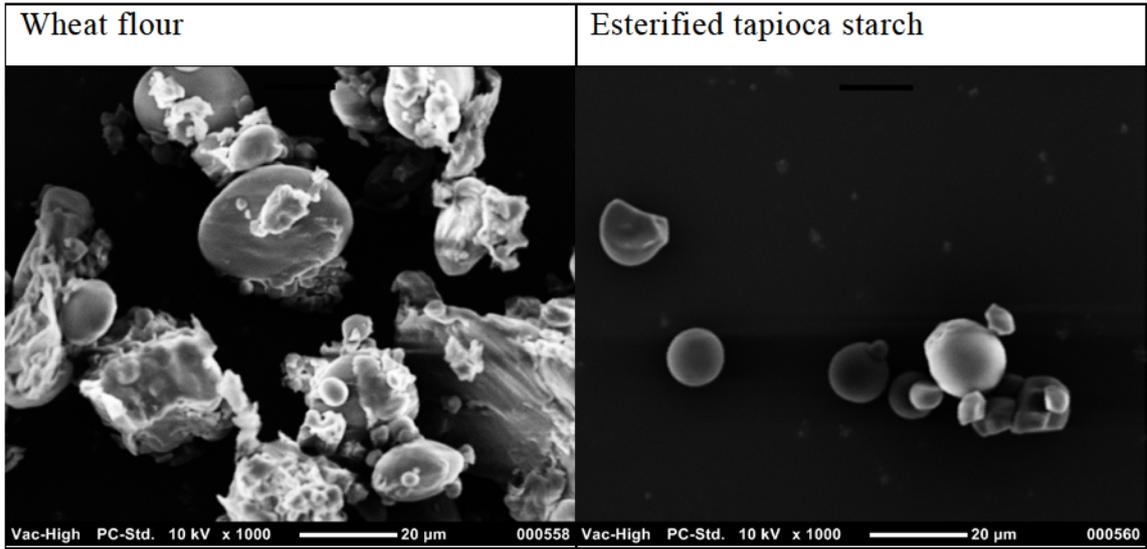


Fig. 1-11. Scanning electron micrograph of wheat flour and esterified tapioca starch ($\times 1000$) in high vacuum mode

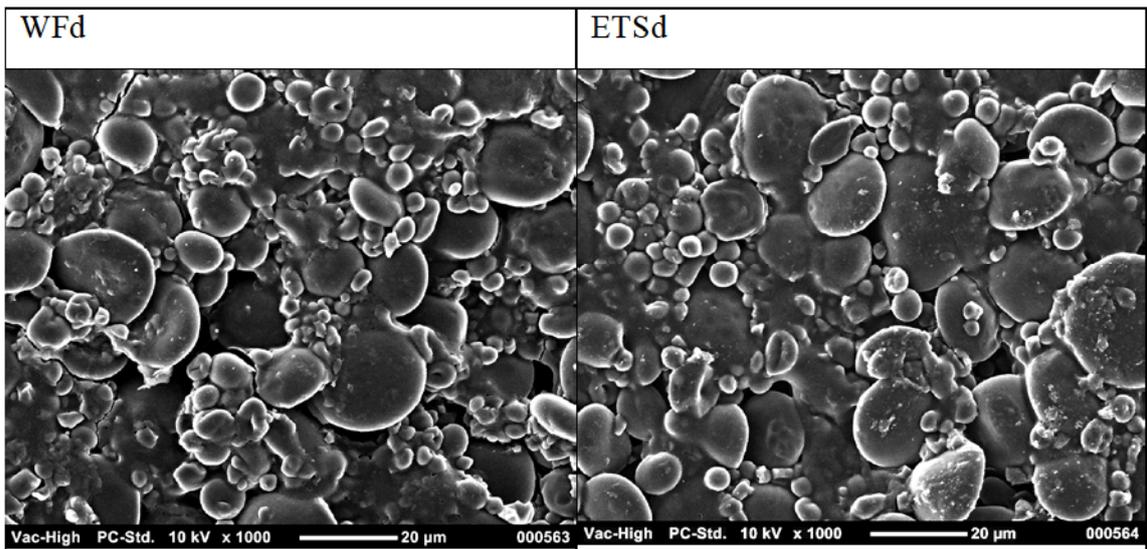


Fig. 1-12. Scanning electron micrograph of dried noodles ($\times 1000$) in high vacuum mode

1.3.8. 官能評価

1.3.8.1. むらし操作導入による嗜好性（5段階評点法）

5段階評点法による官能評価の結果を Fig. 1-13 に示す。総合的な好ましさは、いずれの試料も WF10+0 との間に有意差は認められなかった。したがって、むらし操作を導入した場合でも、通常のゆでのみと同等のおいしさを得られることが分かった。また、ETS3+6 が最も好まれ、次いで WF3+6 が好まれる傾向にあった。

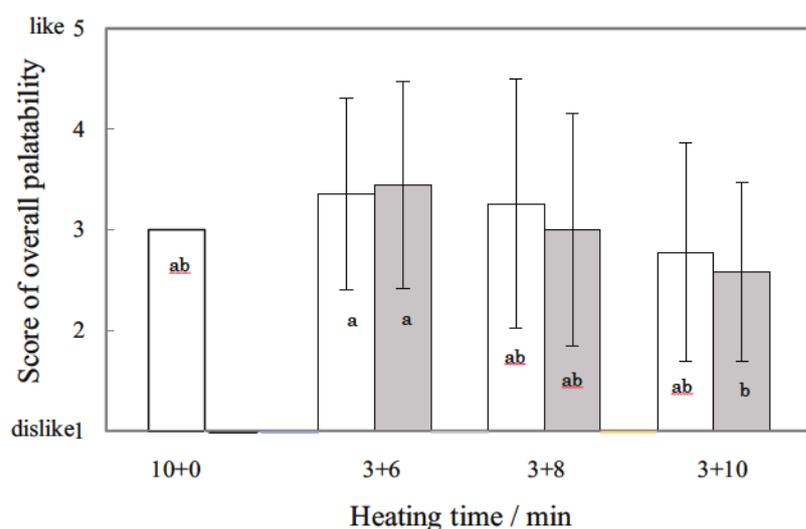


Fig. 1-13. Scores of overall palatability of cooked noodles

□, WF; ■, ETS.

n=31 ; age: 22.0±3.1 years.

Values followed by a different letter are significantly different (p<0.05).

1.4. 小括

麺の調理中における省エネルギー対策を目的として、小麦粉麺とエステル化タピオカ澱粉 6%混合麺を用いて、ゆで時間を 10 分間から 3 分間に短縮し、消火後の余熱を利用したむらし操作を導入した場合の、麺の物性、糊化特性、嗜好性に与える効果を検討した。

むらし操作を導入すると、調理に伴う消費電力量を 32%削減できた。小麦粉麺、エステル化タピオカ澱粉 6%混合麺のいずれにおいても、こしの分布はゆで操作のみの場合と異なったが、ゆで 3 分間後にむらし操作を 6 分間導入した麺（WF3+6 および ETS3+6）において、ゆでのみ 10 分間の麺（WF10+0 および ETS10+0）と同程度の硬さが得られた。

むらし操作の導入による水温の低下は糊化の進行を妨げなかったが、小麦粉麺とエステル化タピオカ澱粉 6%混合麺の糊化の進行は異なった。エステル化タピオカ澱粉 6%混合麺では、起源植物種に特有な吸水性・糊化特性に加え、小麦粉麺よりも原材料のアミロース含量が少なく、澱粉粒子間の隙間が広い疎な乾麺構造を示したため、次第に糊化が進行してやわらかくなり、加熱時間によるやわらかさの調節ができた。

むらし操作を導入した場合でも、ゆで操作のみと同等の嗜好性が得られた。ゆで 3 分間後にむらし操作を 6 分間導入したエステル化タピオカ澱粉 6%混合麺（ETS3+6）が、ゆでのみ 10 分間の麺（WF10+0, ETS10+0）と硬さは変わらないが、強いこしが得られ、嗜好的に最も好まれる傾向にあった。

うどんにエステル化タピオカ澱粉を 6%混合することは、余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。

第2章 エステル化タピオカ澱粉混合麵の

物性・咀嚼性・嗜好性に及ぼすゆで時間の影響

2.1. 緒言

2.2. 実験方法

2.2.1. 試料の調製

2.2.1.1. 乾麵

2.2.1.2. ゆで試料

2.2.2. 測定方法

2.2.2.1. 形状および一般成分

2.2.2.2. 貫入特性

2.2.2.3. 被験者

2.2.2.4. 咀嚼筋筋電位

2.2.2.5. 官能評価

2.2.2.6. 統計解析

2.3. 実験結果

2.3.1. 形状および一般成分

2.3.2. 貫入特性

2.3.2.1. 硬さ

2.3.2.2. 「こし」

2.3.3. 咀嚼筋筋電位

2.3.4. 官能評価

2.4. 考察

2.4.1. 試料の特性

2.4.2. 咀嚼特性

2.4.3. 官能評価

2.4.4. 試料の特性，咀嚼特性および嗜好性の関係

2.5. 小括

2.1. 緒言

近年、食感改良や調理性改善の目的で、麺に様々な澱粉を混合する工夫が見られる。特に、キャッサバを原料とするタピオカ澱粉を混合した場合のテクスチャーが好まれ、使用頻度が高い⁴³⁾。

タピオカ澱粉を混合した麺の特徴として、表面部はなめらかで粘着性が少ないが、中心部は弾力に富んだ食感を示す⁴³⁾。また、加工タピオカ澱粉の混合も広く行われており^{53), 88)}、乾麺への混合では、特にエステル化タピオカ澱粉の使用頻度が高く、この場合は、弾力にやわらかさが付与された食感となる⁴³⁾。第1章では、小麦粉麺と比較して、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、加熱調理時間によりやわらかさの調節がしやすいことを確認した。

また、現在、少子高齢化の急速な進行に伴い、高齢者向け食品への要求が高まっている⁸⁹⁾。咀嚼・嚥下能力が低下した高齢者にとって、噛みやすく飲み込みやすい食品が要求される⁹⁰⁾とともに、さらなる咀嚼・嚥下能力の低下を招かない工夫も要求されている⁹¹⁾。

うどんの嗜好性は高齢者において高いとされており⁹²⁾、エステル化タピオカ澱粉混合麺のテクスチャーは、高齢者向け食品の要求に適すると予想された。これまでに、材料混合が異なるうどんの咀嚼性について比較検討された例はほとんど見当たらない。そこで、本章では、エステル化タピオカ澱粉を混合したうどんの、高齢者向け食品としての適性の検討を目的として、物性、高齢者と若年者の咀嚼性及び嗜好性の比較による評価を行った。

2.2. 実験方法

試料の調製および各測定は、室温 23℃において行った。

2.2.1. 試料の調製

2.2.1.1. 乾麺

東亜食品工業(株)製の市販の小麦粉乾麺（以下、WFd）とエステル化タピオカ澱粉混合乾麺（以下、ETSd）を用いた。WFd は、中力小麦粉 100%，ETSd は、中力小麦粉 94%とエステル化タピオカ澱粉 6%の混合であった。中力小麦粉は、近畿製粉(株)製の「ゴールドマーガレット」（澱粉含量 77%，アミロース：アミロペクチン=27%：73%），エステル化タピオカ澱粉は、松谷化学工業(株)製の「松谷さくら」（アミロース：アミロペクチン=24%：76%，酢酸澱粉，エステル化度 DS=0.02）であった。WFd，ETSd の製造方法は以下のとおりであった。室温 23℃で、原材料 300 kg に、3.6%(w/w)の食塩水を 120 kg 加え、20 分間ミキシングした。60 分間ドウを熟成してから、60 分間麺帯巻取り熟成し、2.2 mm 厚に麺帯を圧延して、3.0 mm 幅に切断した。切断したドウは、24℃，R.H. 80%で 2.5 時間予備乾燥，25℃，R.H. 75%で 6 時間本乾燥，23℃，R.H. 50%で 2.5 時間もどし乾燥してから、210 mm 長に裁断し、乾麺とした。

2.2.1.2. ゆで試料

貫入試験および官能評価に供した試料は、以下の方法で調製した。ステンレス鋼製鍋（直径 27 cm，容量 5 L）にイオン交換水 2 L を入れ、電磁調理器（株東芝製，MR-T1，100 V 仕様）を用いて、水温 25℃から蓋をして強火で加熱を開始した。沸騰状態が安定する加熱開始から 12 分後に乾麺 160 g を投入した。強火のまま沸騰状態で、WFd を 10 分間，ETSd を 10 分間および 13 分間加熱した。3 種類いずれも加熱後直ちに、ボウル中の 20℃のイオン交換水 2 L に 20 秒間浸漬し冷却してから、ざるにあげ、余分な水分を切った⁶²⁾。この直後の麺線温度は 28℃であった。これらをゆで試料とし、それぞれ、WF 10，ETS 10，ETS 13 と呼ぶことにする。

形状、水分含量および咀嚼筋筋電位の測定に供した試料は、一口量ごとに水道水 1 L で調製した。一口量は乾麺重量で 4.0 g に統一した。ゆで水の蒸発分は調製の都度、補正した。他の条件は、貫入試験および官能評価に供した試料の調製と同様とした。

2.2.2. 測定方法

2.2.2.1. 形状および一般成分

乾麺と調製直後から 30 秒以内のゆで試料の、厚さ、幅、一口量重量および水分含量を測定した。厚さと幅は、単軸圧縮・引張型レオメータ（株式会社山電製，レオナー RE-3305）の厚さ計を用いて測定した。乾麺に対するゆで試料の重量変化率，厚さ変化率，幅変化率を算出した。水分含量は，赤外線水分計（株式会社ケツト科学研究所製，FD-600）を用いて，試料 5.0 g を 110℃，60 分間の条件で，赤外線加熱乾燥法により測定した。ゆで試料と乾麺の水分含量の差を算出し，ゆで試料の水分増加量とした。また，乾麺について，たんぱく質はケルダール法，脂質は酸分解法，灰分は直接灰化法，炭水化物は差し引き法により求めた。

2.2.2.2. 貫入特性

調製後直ちに約 3 cm の長さに切断し，乾燥と付着を防ぐため一本ずつ皿に並べてラップをしておいたゆで試料を，10 分以内に測定に供した。予備試験により，測定までに大きな茹でのびの影響はないことを確認した。直径 3.0 mm の円筒型ポリアセタール樹脂製貫入プランジャー（No.4）およびロードセル 1.96 N を装着した単軸圧縮・引張型レオメータ（株式会社山電製，レオナー RE-3305）を用いて，貫入速度 1.0 mm/s で，試料の高さの 95%まで貫入した。1 つの試料につき試料片 6 個以上を 3 回調製し，合計試料片数を 18 個以上とした。

2.2.2.3. 被験者

被験者は，高齢者 10 名（男性 2 名，女性 8 名，年齢 75.8 ± 7.3 歳），若年者 12 名（男性 2 名，女性 10 名，年齢 23.3 ± 2.7 歳）とした。歯の状態は，高齢者では，総義歯使用者 3 名，歯列に一部欠損がある部分義歯使用者 1 名，歯列に欠損がない部分義歯使用者 4 名，歯列に欠損がなく義歯を使用していない者 2 名であった。若年者では，全員，第三大臼歯以外歯列に欠損はなく，治療の必要がない状態であった。実験に先立ち，各被験者に本実験の趣旨を十分に説明し，ヘルシンキ宣言エジンバラ修正を遵守し行い，実験協力者としての同意を得た⁹³⁾。なお実験計画は，兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

2.2.2.4. 咀嚼筋筋電位

つけ麺として食べることを想定し、調製後 30 秒以内の試料一口量と麺つゆ 5 mL をお椀に入れて、ランダム順に 2 反復ずつ各被験者に提示した⁹⁴⁾。麺の全量を一口で入れること、麺つゆは飲まないこと、噛んで食べることの 3 点を指示し、他は自由に咀嚼後、嚥下させた。麺つゆの影響により麺が早く咽頭へ流し込まれることを防ぐため、麺つゆは飲まないよう指示した。また、麺を噛む場合とする場合では、すすむ場合の方が咀嚼の負担が大きい⁹⁴⁾ことが確認されており、食べ方の違いによる咀嚼への影響を極力排除するため、噛んで食べるよう指示した。測定は、神山らの方法^{95)~97)}に準じて行った。表面筋電位計測装置(有)追坂電子機器製、Personal-EMG)を用いて、閉口筋である左右の咬筋に表面電極(Ambu 製、ブルーセンサーM-00-S)を貼り付けて、筋電位を 1000 倍に増幅して記録した。得られた筋電位から、Personal-EMG のソフトウェアを用いて咀嚼特性値を解析した。顕著な個人差の影響を排除するため、個人の値には 2 回の平均値を用いた。自由咀嚼を行わせたため、咬筋は左右の平均値を用いた⁹⁶⁾。咀嚼開始から嚥下終了までの全咀嚼過程から、咀嚼回数、咀嚼時間、総筋活動時間、総筋活動量を求めた。咀嚼 1 回あたりの、咀嚼周期、筋活動時間、筋電位振幅、筋活動量について、全咀嚼過程における平均(全平均)を求めた。また、咀嚼過程における変化を検討するために、咀嚼周期、筋電位振幅、筋活動量については、咀嚼 2~6 回目の平均(初期)、嚥下までの咀嚼回数の半数を中心とした 5 回の平均(中期)、嚥下直前 5 回の平均(後期)を求めた。咀嚼回数が 15 回に満たなかった場合は、初期、中期、後期いずれも 3 回の咀嚼の平均値を用いた⁹⁶⁾。筋活動量の値には、Personal-EMG のソフトウェアにおける IEMG 値を用いた。IEMG は、筋電信号を全波整流平滑化(積分)した信号である。全波整流は、陽性波形・陰性波形ともに基準線で折り返し絶対値として表され、平滑化は、入力信号の周波数より小さい周波数を、遮断周波数とするローパスフィルタによって行われ、遮断周波数約 4.8 Hz の 2 次ローパスフィルタ(時定数 0.099s)で平滑され、四倍の増幅をされたものであった。

2.2.2.5. 官能評価

ETS 13 の調製完了から 30 秒以内の試料約 50 g と麺つゆ 10 mL をお椀に入れて、位置効果に配慮して 3 種を同時に各被験者に提示した。麺つゆを飲まないよう指示した他は、自由に咀嚼・嚥下させた。5 段階評点法(1~5 点)⁶⁹⁾により 7 項目を評価させた。評価基準を統一するために、WF10(3 点)に対する相対評価とした。うどんの官能評価^{98)~100)}を参考に、評価項目を設定した。分析型評価項目は、「こし(識別)」「もちもちしない(1) ⇄ もちもちする(5)」、「なめらかさ(識別)」「ざらざら(1) ⇄ つるつる(5)」、「食べやすさ」「食べにくい(1) ⇄ 食べやすい(5)」、「飲み込みやすさ」「飲み込みにくい(1) ⇄ 飲み込みやすい(5)」の 4 項目とした。嗜好型評価項目は、「こし(嗜好)」、「なめらかさ(嗜好)」、「総合的な好ましさ」「嫌い(1) ⇄ 好き(5)」の 3 項目とした。「こし」の用語の意味は、適当に硬く粘りがあってやわらかいがプツンと切れにくいこと⁹⁸⁾とした。

2.2.2.6. 統計解析

統計ソフト（エス・ピー・エス・エス[®]製，SPSS Statistics 17.0）を使用した。有意水準は5%とした。

形状，水分含量および貫入特性値は，試料を要因として一元配置の分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には，その後の検定として Tukey の HSD の方法による多重比較を行った。

咀嚼特性値は，試料と世代を要因として，対応あり×なしの二元配置の分散分析を行った¹⁰¹⁾。試料と世代の間には交互作用を考慮した⁹⁵⁾。交互作用に有意差が認められなかった場合は，交互作用を除外し，各要因の主効果の検定を行った。交互作用が有意に認められた場合は，単純主効果の検定を行い，試料別の特性値を世代ごとに解釈した^{101),102)}。いずれの場合も，試料に有意差が認められた場合には，全3水準間について，対応のある t 検定を行い，Bonferroni の方法による多重比較の修正を行った^{96),101)}。

官能評価値は，試料と世代を要因として二元配置の分散分析を行った¹⁰¹⁾。世代と試料の間には交互作用を考慮した。

2.3. 実験結果

2.3.1. 形状および一般成分

乾麺の形状および一般成分は、Table 2-1 のとおりであった。

ゆで試料の水分含量、水分増加量、重量、厚さおよび幅、乾麺に対するゆで試料の重量変化率、厚さ変化率および幅変化率を Table 2-2 に示す。水分含量、厚さ変化率、幅および幅変化率は、ETS13, ETS10, WF10 の順に有意に高い値を示した。ゆで試料の水分増加量、重量および重量変化率は、ETS13 が WF 10 および ETS 10 よりも有意に高い値を示し、厚さは、WF 10, ETS 13, ETS 10 の順に有意に厚かった。

Table 2-1. Shape, moisture content and nutritional component of dried noodles.

	WFd	ETSd
Thickness×width×length (mm)	2.0 × 2.9 × 210	1.6 × 3.0 × 210
Moisture content (%)	11.1	12.3
Carbohydrate (%)	72.7	70.9
Protein (%)	8.8	7.8
Lipid (%)	1.4	1.1
Sodium (%)	1.5	1.4

Table 2-2. The moisture content, weight and shape of boiled noodles.

	WF10	ETS10	ETS13	F	p
Moisture content (%)	69.4±0.5 ^c	70.4±0.4 ^b	75.5±0.1 ^a	250.68	***
Moisture absorption (%)	58.2±0.4 ^b	58.2±0.2 ^b	63.3±0.3 ^a	248.46	***
Weight (g)	10.9±0.1 ^b	10.9±0.3 ^b	12.1±0.4 ^a	132.06	***
" (%)	271±3 ^b	273±7 ^b	302±10 ^a	133.40	***
Thickness (mm)	3.0±0.1 ^a	2.7±0.1 ^c	2.8±0.1 ^b	57.45	***
" (%)	154±2 ^c	163±6 ^b	173±6 ^a	114.37	***
Width (mm)	4.5±0.2 ^c	4.7±0.1 ^b	4.8±0.1 ^a	65.65	***
" (%)	154±2 ^c	157±1 ^b	161±2 ^a	161.18	***

Weight, thickness and width of a mouthful boiled noodles.

Ratio of boiled noodles against the dried noodles.

Moisture content: n ≥ 3. Shape: n ≥ 20. *** p < 0.001.

Values followed by a different letter within a row are significantly different (p < 0.05).

2.3.2. 貫入特性

2.3.2.1. 硬さ

得られた貫入曲線を Fig. 2-1 に示す。明確な破断点はみられなかった。うどんは、水分勾配による硬さの不均一性が特徴的な食品であるが^{22),23)}、不均質試料の貫入曲線は各部位ごとの硬さを連続的に示す⁷⁷⁾。そこで、「破断強度解析 Ver1.0」を用いて、貫入歪 0.2, 0.5, 0.6, 0.8 および 0.95 の 5 点における荷重を求めた。そして、麺の表面から麺線内部の各部位による硬さの違いを検討するために、阿部らの方法^{78),79)}に従い、これらの値をそれぞれ比較した。阿部らの方法では、麺の表面、中間、中心部の硬さを調べるために麺の圧縮歪 3 点の測定を行い比較していた。

貫入歪 0.2, 0.5, 0.6, 0.8, 0.95 の 5 点における荷重を Fig. 2-2 に示す。貫入歪が 0.2, 0.5, 0.95 では、WF 10 および ETS 10 が ETS 13 より有意に大きな荷重を示した。貫入歪が 0.6, 0.8 では、ETS 10 が WF 10 および ETS 13 より有意に大きな荷重を示した。

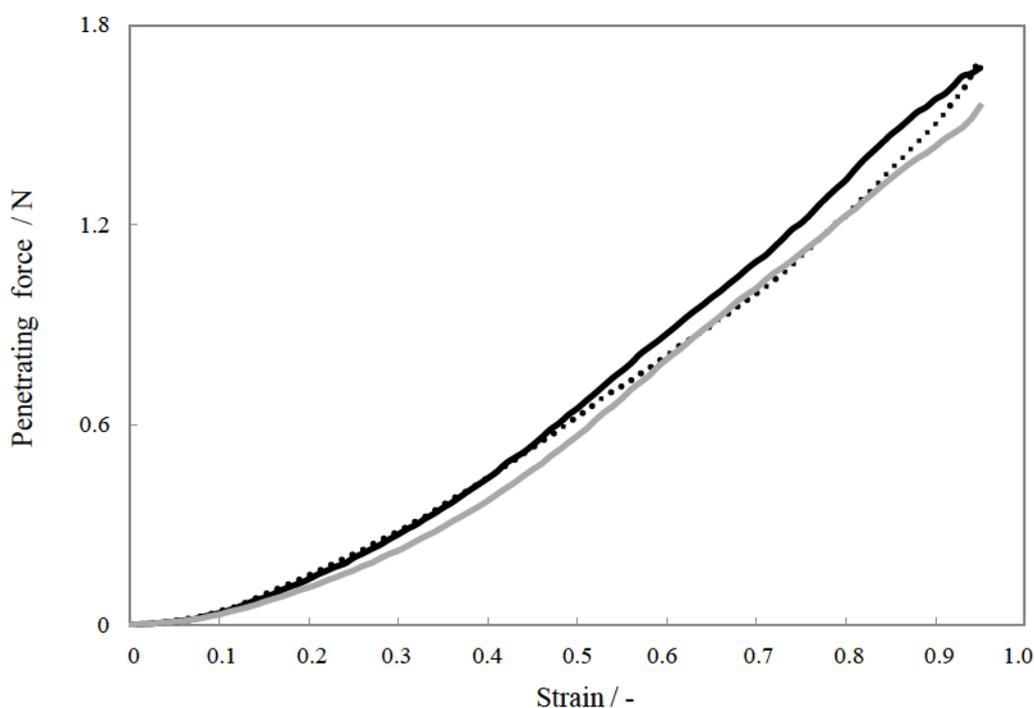


Fig. 2-1. Force-strain curves of boiled noodles.

Crosshead speed: 1.0 mm/s.

Plunger: $\phi=3.0$ mm.

$n \geq 18$.

Measurement temperature: 23°C.

....., WF10; ———, ETS10; ———, ETS13.

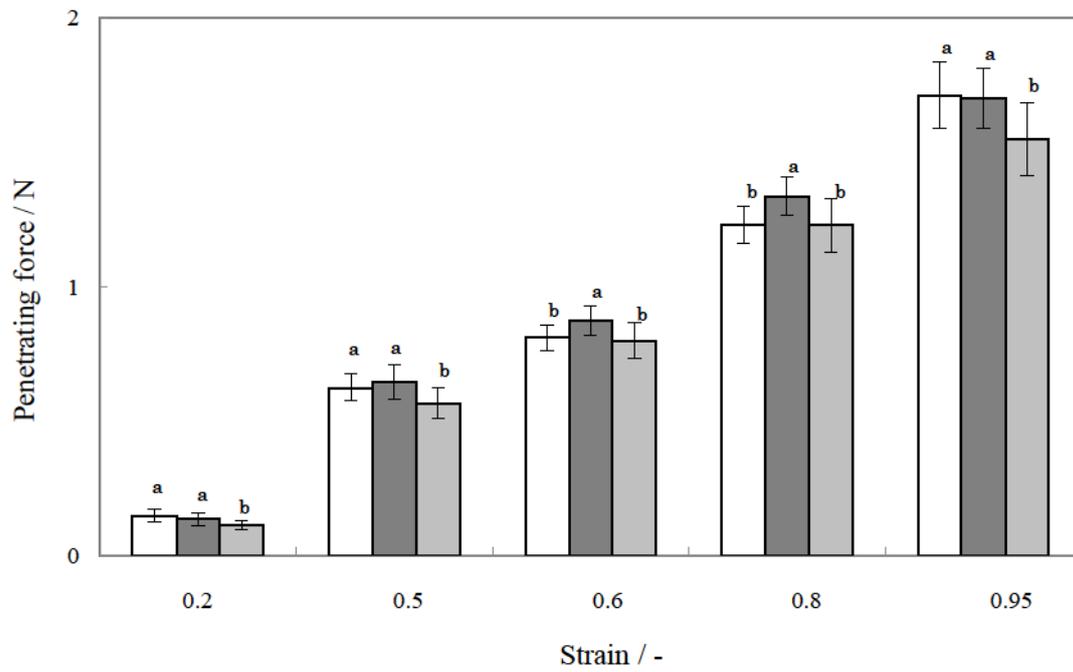


Fig. 2-2. Penetrating force of boiled noodles.

□,WF10; ■,ETS10; ▒,ETS13.

Crosshead speed: 1.0 mm/s.

Plunger: $\phi=3.0$ mm.

$n \geq 18$. Measurement temperature: 23°C.

Values followed by a different letter within a strain are significantly different ($p < 0.05$).

2.3.2.2. 「こし」

麺の質的評価として「こし」を評価するために、四宮の方法²²⁾を参考に、貫入エネルギーと、貫入曲線を歪0.01毎で差分した貫入力変化率を算出した。「こし」は、麺の硬さや粘弾性、硬さの不均一性を複合的に含んだ食感を表す言葉である²²⁾。四宮の方法では、明確な破断点がみられ、破断エネルギーおよび応力変化率の(最高値-破断開始値)が「こし」の定量化に有効であったとしている²²⁾。本章では、明確な破断点がみられなかったため、貫入力変化率の(最高値-破断開始値)を算出することはできなかったが、貫入力変化率は弾性率に相当している²²⁾ことや、高澤ら⁸¹⁾は貫入力変化率の波形から食品を噛み込む間の物性変化の検討を行っていることから、貫入力変化率の波形は噛み込む間の「こし」の状態の推察に有効であると考えて扱った。

貫入エネルギーを Fig. 2-3 に示す。貫入エネルギーは、WF 10 および ETS 10 が ETS 13 よりも有意に大きかった。

貫入曲線を歪0.01毎で差分して求めた貫入力変化率曲線の典型例を Fig. 2-4 に示す。いずれの試料も、正の領域から0へと下降して、再び上昇を繰り返す波形を描いた。そこで、0へと下降する点が表れる回数の計上を試みた。その結果を Table 2-3 に示す。0へと下降する点は、ETS 10 および ETS 13 において WF 10 よりも有意に多かった。また、Fig. 2-4 において、正の傾きを示す部分を変化率の増加と見ると、WF 10 では、歪の増加に伴い変化率が徐々に増加していき、最大貫入時の直前付近で急激に増加した。対して、ETS 10 および ETS 13 では、徐々に変化率が増加していく途中で、突出した値を示すことを何度も繰り返した。

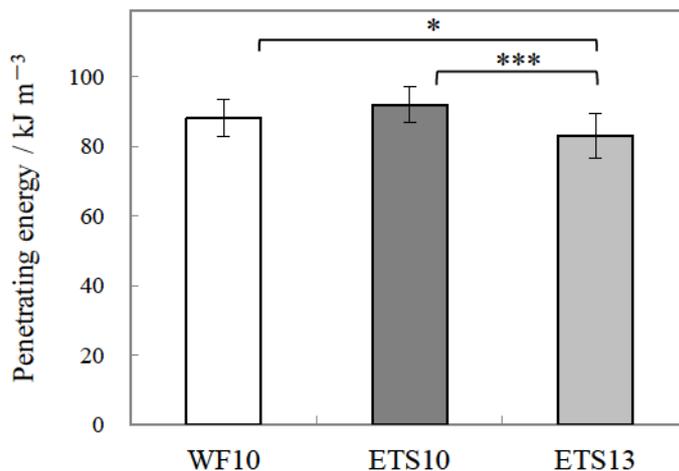


Fig. 2-3. Penetrating energy of boiled noodles.

□, WF10; ■, ETS10; ▒, ETS13.

Crosshead speed: 1.0 mm/s.

Plunger: $\phi=3.0$ mm.

$n \geq 18$. Measurement temperature: 23°C.

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

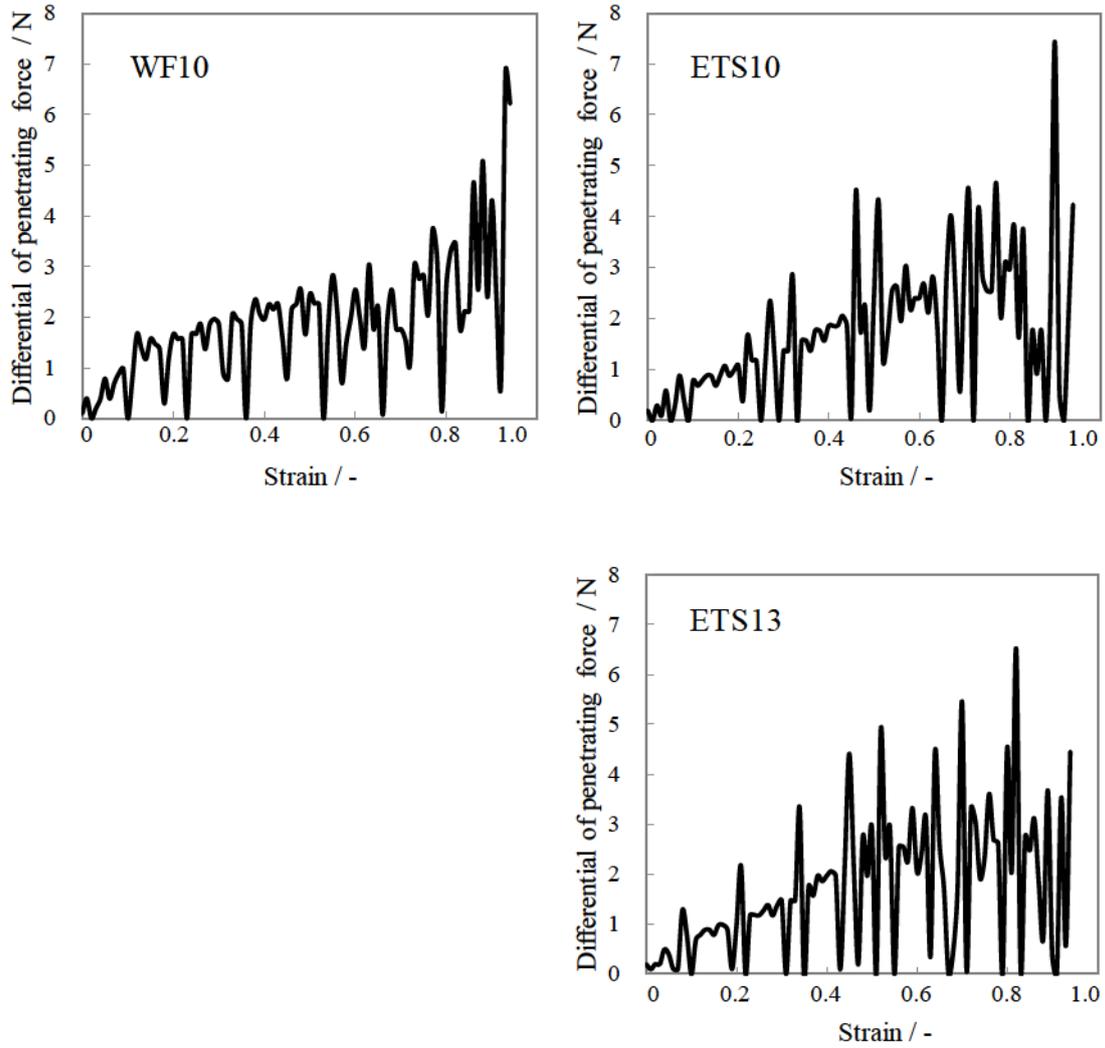


Fig. 2-4. Examples of differential curve per strain of 0.01 of force-strain curve in boiled noodles.

Table 2-3. Number of falling point to zero in differential of penetrating force in boiled noodles.

	WF10	ETS10	ETS13	<i>F</i>	<i>p</i>
Number of falling point to zero	7.6±1.9 ^b	9.5±1.8 ^a	9.2±2.2 ^a	5.35	**

$n \geq 18$.

** $p < 0.01$.

Values followed by a different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$).

2.3.3. 咀嚼筋筋電位

得られた筋電位の一例と咀嚼特性値を Fig. 2-5 に示す。咀嚼筋筋電位測定における各咀嚼特性値の分散分析による交互作用は、咀嚼時間および総筋活動時間以外の特性値において有意差が認められなかった。これらの特性値については、交互作用を除外し、世代と試料の 2 要因の主効果をそれぞれ検討し、世代ごとの咀嚼特性値、試料ごとの咀嚼特性値とした。交互作用が認められた咀嚼時間および総筋活動時間については、世代ごとに試料別で単純主効果を検討し、各世代における試料別の咀嚼特性値とした。

世代ごとの咀嚼特性値を Table 2-4 に示す。咀嚼周期（全平均，初期，中期，後期），筋活動時間では，高齢者の方が若年者よりも有意に大きな値を示した。咀嚼回数，総筋活動量，筋電位振幅（全平均，初期，中期，後期），筋活動量（全平均，初期，中期，後期）では，世代間に有意差は認められなかった。咀嚼回数，総筋活動量，筋活動量（全平均，初期，中期，後期）は高齢者の方が大きい傾向にあり，筋電位振幅（全平均，初期，中期，後期）は若年者の方が大きい傾向にあった。

試料ごとの咀嚼特性値を Table 2-5 に示す。咀嚼回数，総筋活動量，筋活動量（初期）では，WF10 および ETS 10 が ETS 13 よりも有意に大きな値を示した。筋活動時間，筋活動量（全平均）では，WF 10 が ETS 13 よりも有意に大きな値を示した。咀嚼周期（全平均，中期，後期），筋電位振幅（全平均，初期，中期，後期），筋活動量（中期，後期）では，試料間に有意差は認められなかった。

各世代における試料別の咀嚼時間および総筋活動時間を Fig. 2-6 に示す。いずれも，若年者では，試料間に有意差は認められなかったが，ETS 13，WF 10，ETS 10 の順に時間が短い傾向にあった。対して，高齢者では，ETS 13 が WF 10 および ETS 10 よりも有意に時間が短く，ETS 13，ETS 10，WF 10 の順に時間が短い傾向にあった。

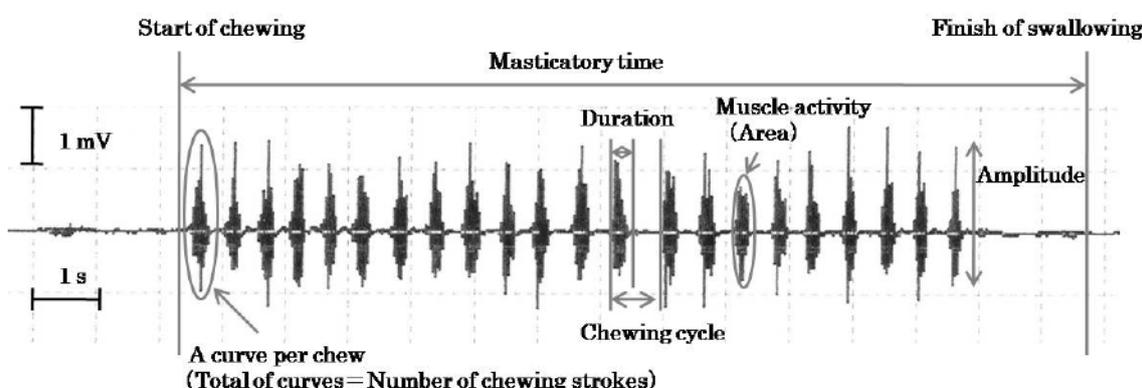


Fig. 2-5. An example of electromyogram and electromyographic parameters while eating boiled noodles.

A young subject from the Masseter muscle.

Table 2-4. Effects of generation on electromyographic parameters of boiled noodles.

		The youth	The elderly	<i>F</i>	<i>p</i>
Whole mastication	Number of chewing strokes	36.7±20.9	47.4±26.7	1.08	n.s.
	Total muscle activity (mV·s)	5.95±4.45	7.55±4.49	0.71	n.s.
	Chewing cycle (s)	0.678±0.058	0.888±0.254	8.41	**
	" in early stage	0.622±0.061	0.757±0.181	8.68	**
	" in middle stage	0.606±0.086	0.709±0.148	5.58	*
	" in late stage	0.993±0.365	1.567±0.678	8.34	**
	EMG duration (s)	0.300±0.043	0.480±0.156	14.84	***
	EMG amplitude (mV)	0.686±0.355	0.498±0.381	1.36	n.s.
Per chew	" in early stage	0.715±0.336	0.514±0.354	1.78	n.s.
	" in middle stage	0.740±0.377	0.515±0.421	1.68	n.s.
	" in late stage	0.529±0.396	0.419±0.358	0.45	n.s.
	Muscle activity (mV·s)	0.164±0.083	0.192±0.122	0.39	n.s.
	" in early stage	0.179±0.080	0.202±0.126	0.28	n.s.
	" in middle stage	0.171±0.091	0.189±0.137	0.14	n.s.
	" in late stage	0.137±0.083	0.208±0.148	2.14	n.s.

The youth: 2 muscles × 12 subjects (age: 23.3±2.7) × 2 replicates.

The elderly: 2 muscles × 10 subjects (age: 75.8±7.3) × 2 replicates.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, n.s.: not significant.

Table 2-5. Effects of samples on electromyographic parameters of boiled noodles.

		WF10	ETS10	ETS13	<i>F</i>	<i>p</i>
Whole mastication	Number of chewing strokes	44.4±27.2 ^a	42.7±23.2 ^a	37.6±22.3 ^b	10.29	***
	Total muscle activity (mV·s)	7.36±5.26 ^a	6.97±4.20 ^a	5.70±3.99 ^b	10.43	***
	Chewing cycle (s)	0.793±0.233	0.758±0.162	0.768±0.219	1.32	n.s.
	" in early stage	0.727±0.196 ^a	0.669±0.124 ^a	0.654±0.921 ^a	4.59	*
	" in middle stage	0.674±0.150	0.664±0.104	0.622±0.125	3.14	n.s.
	" in late stage	1.367±0.718	1.239±0.488	1.155±0.579	2.31	n.s.
	EMG duration (s)	0.392±0.165 ^a	0.385±0.140 ^{ab}	0.368±0.123 ^b	3.75	*
	EMG amplitude (mV)	0.606±0.396	0.614±0.392	0.580±0.357	1.93	n.s.
Per chew	" in early stage	0.638±0.368	0.634±0.370	0.598±0.343	2.91	n.s.
	" in middle stage	0.632±0.428	0.650±0.425	0.631±0.395	0.48	n.s.
	" in late stage	0.488±0.392	0.489±0.399	0.460±0.367	0.48	n.s.
	Muscle activity (mV·s)	0.182±0.110 ^a	0.183±0.108 ^{ab}	0.166±0.932 ^b	3.32	*
	" in early stage	0.196±0.111 ^a	0.203±0.120 ^a	0.168±0.076 ^b	5.98	**
	" in middle stage	0.179±0.118	0.188±0.118	0.172±0.110	0.87	n.s.
	" in late stage	0.171±0.129	0.176±0.123	0.160±0.116	0.67	n.s.

2 muscles × 22 subjects × 2 replicates.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, n.s.: not significant.

Values followed by a different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$).

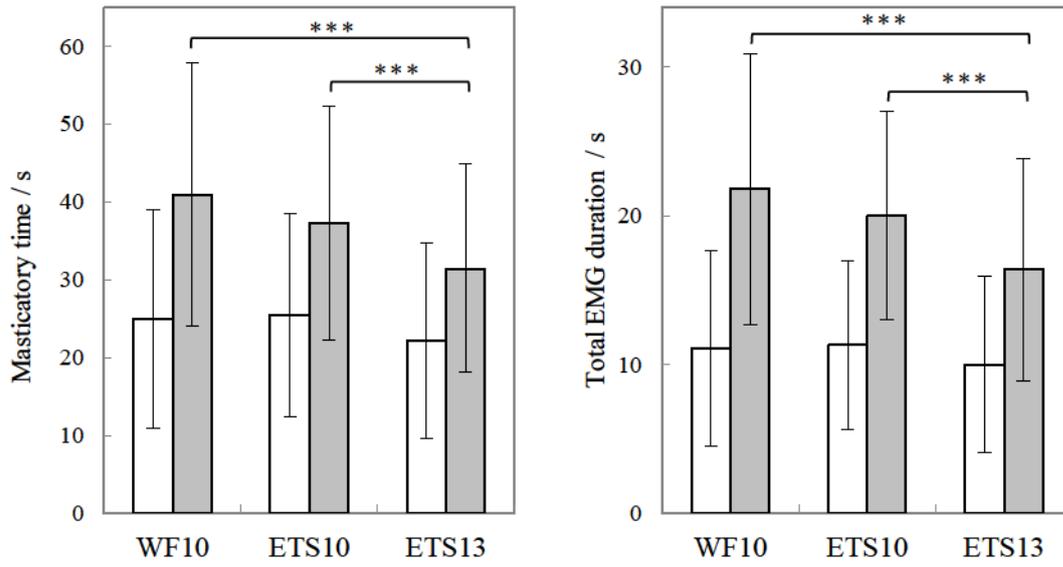


Fig. 2-6. Masticatory time and total EMG duration of boiled noodles in each generation.

□, The youth: 2 muscles × 12 subjects (age: 23.3±2.7) × 2 replicates.

■, The elderly: 2 muscles × 10 subjects (age: 75.8±7.3) × 2 replicates.

*** p<0.001.

2.3.4. 官能評価

各官能評価値の分散分析による交互作用は、総合的な好ましさ以外の官能評価値において有意差が認められなかった。これらの官能評価値については、交互作用を除外し、世代と試料の2要因の主効果をそれぞれ検討し、世代ごとの官能評価値、試料ごとの官能評価値とした。交互作用が有意に認められた総合的な好ましさについては、世代ごとに試料別で単純主効果を検討し、各世代における試料別の官能評価値とした。

世代ごとの官能評価値を Table 2-6 に示す。分析型評価項目においては、すべての項目で世代間に有意差は認められなかった。傾向としては、なめらかさ（識別）、飲み込みやすさは、高齢者の方が評点が高く、こし（識別）、食べやすさは、若年者の方が評点が高かった。嗜好型評価項目においては、なめらかさ（嗜好）では、高齢者の方が若年者よりも有意に高い評点を示した。こし（嗜好）では、世代間に有意差は認められなかったが、高齢者の方が評点が高い傾向にあった。

試料ごとの官能評価値を Table 2-7 に示す。分析型評価項目においては、こし（識別）では、ETS 13 が WF 10 よりも有意にこしが低いと判断された。なめらかさ（識別）では、ETS 10 が WF 10 よりも有意になめらかであると識別された。食べやすさでは、ETS 13 が最も食べやすく、ETS 13, ETS 10, WF 10 の順に食べやすいと判断された。飲み込みやすさでは、ETS 10 および ETS 13 が WF 10 よりも有意に飲み込みやすいと判断された。嗜好型評価項目においては、なめらかさ（嗜好）では、ETS 10 および ETS 13 が WF 10 よりも有意に好まれた。こし（嗜好）では、試料間に有意な嗜好差は認められなかったが、ETS 10, WF 10, ETS 13 の順に好まれる傾向にあった。

各世代における試料別の総合的な好ましさの官能評価値を Fig. 2-7 に示す。若年者では、ETS 10 が WF 10 よりも有意に好まれ、ETS 10, WF 10, ETS 13 の順に好まれる傾向にあった。対して、高齢者では、ETS 13 が WF 10 よりも有意に好まれ、ETS 13, ETS 10, WF 10 の順に好まれる傾向にあった。

Table 2-6. Effects of generation on sensory evaluation of boiled noodles.

		The youth	The elderly	<i>F</i>	<i>p</i>
Perception	Koshi	2.78±0.83	2.73±0.87	0.04	n.s.
	Smoothness	3.28±0.78	3.50±0.68	1.42	n.s.
	Ease to eat	3.58±0.81	3.53±0.73	0.07	n.s.
	Ease to swallow	3.39±0.73	3.53±0.82	0.57	n.s.
Palatability	Koshi	3.08±0.94	3.20±0.71	0.29	n.s.
	Smoothness	3.25±0.81	3.63±0.81	4.35	*

The youth: n=12 (age: 23.3±2.7).

The elderly: n=10 (age: 75.8±7.3).

* $p < 0.05$, n.s.: not significant.

Table 2-7. Effects of samples on sensory evaluation of boiled noodles.

		ETS10	ETS13	<i>F</i>	<i>p</i>
Perception	Koshi	2.95±0.95 ^{n.s.}	2.31±0.99 [*]	5.45	**
	Smoothness	3.64±0.49 ^{***}	3.50±1.10 ^{n.s.}	6.23	**
	Ease to eat	3.59±0.67 ^{**}	4.09±0.87 ^{***}	20.11	***
	Ease to swallow	3.50±0.67 ^{**}	3.86±0.99 ^{**}	9.58	***
Palatability	Koshi	3.45±0.86 ^{n.s.}	2.95±1.13 ^{n.s.}	2.43	n.s.
	Smoothness	3.73±0.77 ^{***}	3.55±1.10 [*]	6.28	**

n=22.

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, n.s.: not significant vs WF10(3).

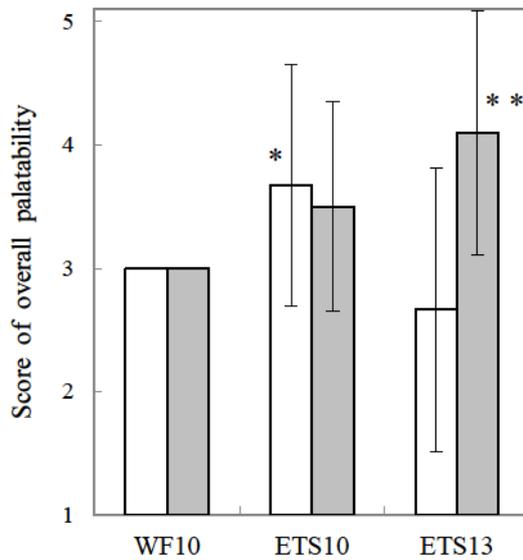


Fig. 2-7. Overall palatability of boiled noodles in each generation.

□ ,The youth: n=12 (age: 23.3±2.7).

■ ,The elderly: n=10 (age: 75.8±7.3).

* p<0.05, ** p<0.01 vs WF10(3).

2.4. 考察

2.4.1. 試料の特性

エステル化タピオカ澱粉 6%混合の市販乾麺を用いた。エステル化タピオカ澱粉の混合濃度により麺に付与される特性の強度は変化するが、これまでにタピオカ澱粉の混合率が 5%以上ではなめらかな食感が付与され⁴³⁾、30%以上では食感のバランスが崩れやすい⁸⁸⁾ことが報告されている。また、第 1 章では、本市販乾麺を利用したゆで試料には適度な弾力が付与されていることが推察された。したがって、本章において本市販乾麺を利用することは、目的であるなめらかさややわらかな弾力といった食感に基づく咀嚼性や嗜好性への影響を検討するために妥当と判断した。

試料調製のゆで時間は 10 分間および 13 分間としたが、10 分間は、市販製品のゆで標準時間であったことから決定した。13 分間は、第 1 章において、ゆで操作 3 分間後に余熱利用によるむらし操作 10 分間を導入した合計加熱時間 13 分間により、麺線がやわらかくなったことを参考に決定した。本章では、高齢者向け食品への適性の検討を目的としたため、第 1 章で検討した余熱利用のむらし操作は導入せず、家庭における通常の調理操作として普及していると考えられたゆで操作のみで調製を行った。

乾麺はゆで操作中に、吸水膨潤して糊化するとともに、ゆで溶出を起こす。ゆで時間 10 分間では、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、小麦粉麺よりも溶出量が多い¹⁰³⁾とされている。厳密に吸水率を考える場合、溶出量についても測定する必要がある。しかし、本章では、咀嚼性および嗜好性の検討を目的とし、溶出量は咀嚼性には直接的な影響を与えないと考えるため、ゆで試料の水分増加量を、見かけの吸水量とみなすこととした。重量変化率についても同様に、見かけの吸水率とみなすこととした。

見かけの吸水率は、ETS 13 が WF 10 および ETS 10 より有意に高く、厚さ変化率および幅変化率は、ETS 13, ETS 10, WF 10 の順に有意に大きくなった。第 1 章において、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、小麦粉麺と比較し、糊化開始までにはある程度の時間を要するが、構造が疎であるため、その後は吸水を続けやすいことを推察した。本章でも、ETS 13 の見かけの吸水率の高さから、このことが推察される。また、WF 10 と ETS 10 は、見かけの吸水率は変わらないが、形状変化は異なった。麺の形状は、澱粉粒子が吸水膨潤することで厚く太くなる。第 1 章において、乾麺では、エステル化タピオカ澱粉混合麺よりも小麦粉麺において粒子径の大きい澱粉粒子が多く観察された。吸水率が変わらなければ、膨潤の程度もほとんど変わらず、小麦粉麺の方が厚く太くなると考えたが、エステル化タピオカ澱粉混合麺の方が厚く太くなった。澱粉は由来する植物により固有の特性を示すため、吸水率は変わらなくても、エステル化タピオカ澱粉混合麺の方が、澱粉粒子が十分に膨潤し、小麦粉麺よりも形状が変化しやすかったと考えられる。

貫入試験において、直径 3.0 mm の円筒型プランジャーを選定したが、ゆで試料の幅は 3.0 mm 以上であったため、選定は妥当であった。四宮の報告²²⁾では、くさび型プランジャーを用いているため破断点がみられたが、本章では、円筒型プランジャーを用いたため破断点がみられなかったと考えられる。

麺線の中心部以降から最大限に噛む直前までの間の力は、ETS 10の方が WF 10より有意に大きな力を必要とした。また、第 1 章において、エステル化タピオカ澱粉混合麺は小麦粉麺と比較して、加熱調理時間によりやわらかさの調節がしやすいことを確認した。いずれの貫入歪においても ETS 13の方が ETS 10より荷重が小さかったことは、エステル化タピオカ澱粉混合麺の麺線がゆで時間の増加により全体的にやわらかくなったことを示した。

貫入エネルギーの結果から、WF 10および ETS 10が ETS 13よりも有意にこしがあったと推察される。

貫入力変化率の大きさを比較した。四宮は、応力変化率の増加は、咀嚼過程で力を入れ続けることを意味し、硬さおよび噛み切りにくいテクスチャーを表す²²⁾ことを、逆に、応力変化率の減少は、咀嚼過程で力を抜くことを意味し、軟らかい、もろい感覚につながる²²⁾ことを報告している。貫入力変化率の減少について、四宮の報告²²⁾では、大きな減少はほとんど見られなかったが、高澤らの報告⁸¹⁾では、初期に大きく低下した後、さらにマイナス領域までの下降が見られ、本章では、マイナス領域までは下降しないが、0へと下降する点が認められた。四宮の報告²²⁾と本章で差分曲線の波形が異なったのは、試料の原材料と形状が異なったためと考えられる。四宮の報告では、強力小麦粉 100%を原材料とする、厚さ 3 mm、幅 4 mm の生麺をゆでて使用²²⁾したのに対し、本章では、中力小麦粉およびエステル化タピオカ澱粉を原材料とする、厚さ約 2 mm、幅約 3 mm の乾麺をゆでて使用した。そのため、本章の方が、麺線構造がもろく、0へと大きく下降する点が表れやすかったと推察される。また、高澤らは、マイナス領域に下降する谷となる変曲点は、試料に用いた蒸しパン内部の、すだちの微細構造の崩壊を示す⁸¹⁾と考察している。本章では、マイナス領域までは下降しなかったが、もろい構造の部位において、弾性率が直前の歪と変わらず、噛む力が直前と同じであることを意味すると考えられる0へと下降する点が表れ、噛み進めやすくなっていたと推察される。したがって、0へと下降する点の数から、WF 10は、噛む力を加え続けないと噛み進められない麺であったのに対し、ETS 10および ETS 13は、噛む力を加え続けなくても噛み進めやすい麺であったと推察される。また、歪の増加に伴う貫入力変化率の分布を比較した。WF 10は麺を噛み切る直前あたりで局在集中的に強い噛みごたえを感じる麺であったのに対し、ETS 10および ETS 13は、麺線を噛み進める途中で何度も点在する強い噛みごたえを感じる麺であったと考えられる。エステル化タピオカ澱粉混合麺のテクスチャーは「もちもち」⁴³⁾と形容されることが多い。これら貫入力変化率の分布の状態が「もちもち」という状態を示すと推察される。

2.4.2. 咀嚼特性

試料の一口量は予備試験より決定した。異なる食品の咀嚼特性値は、一口に入る重量^{94)~96)}や体積⁹⁷⁾で試料量を統一して比較検討されることが多い。本章では、これを考慮しながら、一口に入る試料量を乾麺重量で統一した。家庭では、乾麺重量で統一された束を単位にゆで操作を行って食することが多いことと、試料の調製に伴う水分と形状の変化について検討したかったためである。

高齢者では若年者に比べて、咀嚼時間、咀嚼周期、総筋活動時間、筋活動時間といった、時間に関する咀嚼特性値の有意な増加が確認された。また、有意差は認められなかったが、高齢者における咀嚼回数の増加の傾向と、筋電位振幅の低下の傾向が見られた。これらは、高齢者は、咀嚼能力の低下を咀嚼の回数や時間を増やして対応する時間制御型の食べ方をする¹⁰⁴⁾とこれまでに指摘されていることと一致した。

試料ごとの咀嚼においては、咀嚼回数、総筋活動量、咀嚼周期（初期）、筋活動時間、筋活動量（全平均、初期）から、ETS 13 が最も有意に食べやすく、以下 ETS 10、WF 10 の順に食べやすい傾向が示された。また、筋電位振幅の試料間には有意差が認められなかったことから、最も食べやすい ETS 13 においても、噛む強さは維持したと考えられる。ETS 10 と ETS 13 の比較では、咀嚼回数、総筋活動量、筋活動量（初期）から、エステル化タピオカ澱粉混合麺はゆで時間を長くした方が食べやすいことが示された。

試料が咀嚼時間および総筋活動時間に与える影響は、若年者と高齢者で異なることが示された。高齢者においては、咀嚼時間、総筋活動時間ともに、ETS 13 が WF 10 および ETS 10 よりも有意に短くなったことから、エステル化タピオカ澱粉を混合し、ゆで時間も長くすることで、有意に食べやすくなったことが示されたが、若年者においては、試料の影響は認められなかった。畑江らは、高齢者は、物性の異なる食品に対して、若年者よりも敏感に咀嚼回数を変えた¹⁰⁵⁾と報告している。本章では、咀嚼時間および総筋活動時間が変わり、同様に高齢者のテクスチャーに対する咀嚼の対応の敏感さが示されたと考えられる。

2.4.3. 官能評価

高齢者では若年者に比べて、なめらかさ（嗜好）が有意に好まれた。なめらかさ（識別）については、世代間に有意な識別差は認められなかったが、高齢者は、水分含量の最も高い ETS 13 を最もなめらかであると判断する傾向が見られた。高齢者では、口腔乾燥や唾液分泌低下が起こりやすい^{93),106)}が、嚥下食塊形成には、一定量の唾液分泌量が必要⁹³⁾となる。そのため、高齢者においては、水分含量の高い食品の摂取により、口腔乾燥感や唾液分泌の不足が補われて食塊形成が助けられ、若年者よりもなめらかさが好まれたと推察される。

試料間の関係において、WF 10（3点）を標準試料としたため、ETS 10 と ETS 13 の比較は、WF 10 と同じか異なるかの統計しかできない。そのため、WF 10 に対する ETS 10 および ETS 13 の比較とは同列ではない。

試料ごとの比較において、WF 10 と ETS 10 の比較では、エステル化タピオカ澱粉の混合により、麺が有意になめらかで食べやすく飲み込みやすくなることが識別され、嗜好的にもなめらかさが好まれることが示唆された。WF 10 と ETS 13 の比較では、ゆで時間も長くすることにより、有意にこしが弱く、さらに食べやすくなることが識別され、嗜好的になめらかさが好まれることが示唆された。また、食べやすさの評価については、咀嚼筋筋電位測定 of 咀嚼特性値から、ETS 13 が最も食べやすく、以下 ETS 10, WF 10 の順に食べやすい傾向があると推察されたことと一致し、ETS 10 と WF 10 の食べやすさの違いにも差が認められた。こしについては、WF 10 および ETS 10 が ETS 13 よりもこしがあると貫入特性の貫入エネルギーから推察されたが、官能評価のこし（識別）においても評価が一致した。

試料が総合的な好ましさに与える影響は、若年者と高齢者で異なることが示された。高齢者において最も好まれた ETS 13 は、若年者においては最も好まれず、ETS 10 が最も好まれた。すなわち、高齢者では、水分含量が高く、やわらかくこしが弱く食べやすい麺ほど好まれるのに対し、若年者では、硬さやこしによる噛みごたえがある麺ほど好まれることが示唆された。

2.4.4. 試料の特性、咀嚼特性および嗜好性の関係

使用した試料の範囲内での麺の重さや太さといった形状の違いは、いずれの試料でも食べやすさに影響しなかったと推察される。ただし、厚さについては、ETS 10 および ETS 13 では、食べやすさに影響はなかったと推察されるが、WF 10 では、最も厚く最も食べにくい試料であったため、本章の結果からは、食べやすさへの影響の有無は判断できなかった。

水分含量が高い食品は、食べやすい⁹⁷⁾ことが報告されている。咀嚼筋筋電位測定の特徴値としては、嚥下までの総筋活動時間および咀嚼周期が短く、筋活動量が小さく現れ、特に咀嚼の初期に顕著である⁹⁷⁾とされている。本章においても、水分含量の最も高い ETS 13 が最も食べやすく、これら咀嚼特性値の初期に顕著に現れるといった同様の関係が確認できた。また、咀嚼筋筋電位測定の総筋活動時間と官能評価の総合的な好ましさからは、水分含量が高いことによる食べやすさへの影響は、高齢者において現れやすく、嗜好にも影響したことが示唆された。咀嚼時の唾液分泌量が少ないと、嚥下までの咀嚼回数が有意に延長される⁹³⁾とされている。水分含量が最も有意に高い ETS 13 において、咀嚼回数が有意に少なくなっていたことから、高齢者においては、なめらかさ（嗜好）が若年者よりも好まれたのと同様の理由で、食べやすさへの影響が大きくなったと推察される。

試料の硬さやこしと咀嚼特性値との関係について、圧縮歪が 0.5 よりも小さい時の性質は、咀嚼挙動に影響せず、試料を最大限に押しつぶす時の性質が、咀嚼初期の力に最も影響する⁹⁷⁾ことが報告されている。本章においても、最大限に押しつぶす直前の貫入歪 0.95 における荷重や貫入エネルギーが、咀嚼筋筋電位測定による咀嚼回数、総筋活動量、筋活動量（初期）、高齢者における咀嚼時間、高齢者における総筋活動時間と、試料間の有意差の関係が一致した。ただし、本章においては、咀嚼挙動に影響しないとされている貫入歪 0.2 および 0.5 における荷重についても、これら咀嚼特性値と関係が一致していた。貫入歪 0.95 における荷重も一致しているため、これらが影響を及ぼしているかどうかは判断できないが、表面のやわらかさも食べやすさに影響した可能性は考えられる。やわらかくこしが弱い麺ほど咀嚼の負担が少なく、特に高齢者において食べやすいことが示唆される。

試料の付着性が、咀嚼過程全体の咀嚼挙動に影響し、開口筋群の筋電位計測で得られる咀嚼特性値と関与する⁹⁷⁾ことが報告されている。そのため、試料の咀嚼特性への影響を評価するうえで、付着性の評価は無視できないと考えられる。しかし、本章では、閉口筋である左右咬筋により咀嚼挙動を評価し、また、付着性の機器測定にあたっては、予備試験において、試料の麺線が細く、プランジャー素材が不適なために十分な値が得られなかったため、評価しなかった。

うどんは、総義歯者において食べやすい食品である¹⁰⁷⁾ことが報告されている。咀嚼特性から噛む強さを維持していると考えられた ETS 13 について、貫入力変化率の波形から、こしは弱く噛み進めやすいが、ある程度の噛みごたえもあると推察される。最も食べやすい ETS 13 についても、高齢者の咀嚼機能維持に役立てられる可能性が示唆された。

2.5. 小括

エステル化加工タピオカ澱粉を6%混合したうどんの、高齢者向け食品としての適性を検討した。試料には、小麦粉麺を10分間ゆでたWF10、エステル化タピオカ澱粉混合麺を10分間ゆでたETS10および13分間ゆでたETS13の、3種類のゆで麺を用いた。麺の物性、咀嚼特性および嗜好性の評価を、形状、水分含量、貫入特性、高齢者(75.8±7.3歳)と若年者(23.3±2.7歳)を対象とした咀嚼筋筋電位および官能評価により行った。

1. 麺にエステル化タピオカ澱粉を混合することで、なめらかでやわらかな弾力が広く分布するもちもちとしたテクスチャーが付与された。高齢者と若年者の両世代において、食べやすさと嗜好性が高まる傾向にあった。
2. エステル化タピオカ澱粉混合麺のゆで時間を長くすることで、水分含量が増加した。麺線全体的にやわらかく、こしも弱くなり、早い段階で噛み切りやすい食べやすさのさらに向上した麺となった。
3. 高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性に違いが見られ、高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っていた。また、高齢者では、ETS13が最も食べやすく好ましいと評価された。若年者では、高齢者と同様に、ETS13が最も食べやすいと評価されたが、最も好まれたのは、硬さやこしによる噛みごたえのあるETS10であった。うどんのおいしさの評価において重要な要素は、高齢者においては、水分含量の高さによる食べやすさであり、若年者においては、硬さやこしによる噛みごたえであることが示唆された。
4. 高齢者に最も食べやすいと評価されたETS13についても、筋電位振幅および貫入力変化率からある程度の噛みごたえが維持されたことが示唆された。したがって、うどんにおいては、ETS13は、食べやすかつ無理なく高齢者の咀嚼機能維持にも役立てられる、高齢者向け食品としての適性があることが示唆された。

第3章 うどんの物性・咀嚼性・嗜好性に及ぼす エステル化タピオカ澱粉濃度の影響

3.1. 緒言

3.2. 実験方法

3.2.1. 試料の調製

3.2.1.1. 原材料

3.2.1.2. 乾麺

3.2.1.3. ゆで試料

3.2.2. 測定方法

3.2.2.1. 形状および一般成分

3.2.2.2. 貫入特性

3.2.2.3. 原材料の粒子径分布

3.2.2.4. 乾麺の構造観察 (SEM)

3.2.2.5. 被験者

3.2.2.6. 官能評価

3.2.2.7. 咀嚼筋筋電位

3.2.2.8. 統計解析

3.3. 実験結果

3.3.1. 形状および一般成分

3.3.2. 貫入特性

3.3.3. 原材料の粒子径分布および乾麺の構造

3.3.4. 高齢被験者の咀嚼・嚥下状況

3.3.5. 官能評価

3.3.6. 咀嚼筋筋電位

3.4. 考察

3.4.1. 試料の特性・嗜好性・咀嚼特性に及ぼす濃度の影響

3.4.2. 嗜好性・咀嚼特性の世代間の比較

3.5. 小括

3.1. 緒言

少子高齢化の急速な進行に伴い、高齢者向け食品への要求が高まっている⁸⁹⁾。多くの高齢者は咀嚼・嚥下能力が低下するため、栄養やおいしさに加えて、咀嚼・嚥下が容易である⁹⁰⁾とともに、咀嚼・嚥下機能を維持できる⁹¹⁾食品が求められる。

一般に、エステル化タピオカ澱粉を混合したうどん乾麺が広く製造されている⁴³⁾。このうどんは、なめらかで粘着性が少なく⁴³⁾、やわらかな弾力に富んだ食感⁴³⁾を示し、第1章において加熱調理時間によりやわらかさの調節がしやすいことが分かった。これらの特性は、高齢者向け食品の要求に適するのではないかと考え、第2章において、小麦粉100%のうどんとエステル化タピオカ澱粉を6%混合したうどんのゆで時間を変えて、力学特性、嗜好性、咀嚼特性の面から、高齢者向け食品としての適性を検討した。第2章の結果では、エステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を13分間ゆでたうどんは、小麦粉100%乾麺およびエステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を10分間ゆでたうどんと比較して、水分が多くてやわらかく、高齢者において食べやすさと嗜好性が高まった。さらに、咀嚼筋筋電位振幅は維持されたことから、咀嚼機能維持にも役立てられる可能性が示唆された。

本章では、第2章の結果に基づいて、ゆで時間を13分間に設定し、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度が、うどんの物性と、高齢者および若年者における嗜好性、咀嚼特性に及ぼす影響を検討した。特に、これまでに十分明らかでない、うどんのなめらかさと咀嚼特性の関係を、世代間で比較して明らかにすることを目的とした。なめらかなうどんは、口腔内に付着しにくいと予想され、付着性には、開口筋群の筋電位計測で得られる咀嚼特性値が関与する^{97),108)}ことが報告されている。第2章では、閉口筋から咀嚼特性を評価したため、なめらかさと咀嚼特性の関係の評価が十分でなかった。そこで、咀嚼特性の評価を、閉口筋と開口筋群から行った。

3.2. 実験方法

試料の調製および各測定は、室温 $25\pm 4^{\circ}\text{C}$ において行った。

3.2.1. 試料の調製

3.2.1.1. 原材料

中力小麦粉は、近畿製粉(株)製の「ゴールドマーガレット」(澱粉含量77%, アミロース:アミロペクチン=27%:73%), エステル化タピオカ澱粉は、松谷化学工業(株)製の「松谷さくら」(アミロース:アミロペクチン=24%:76%, 酢酸澱粉, エステル化度 $DS=0.02$)を用いた。東亜食品工業(株)において、中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉を0%(w/w), 6%(w/w), 10%(w/w), 15%(w/w)混合し、原材料とした。

3.2.1.2. 乾麺

第1章および第2章で用いた市販乾麺と同じ製法により製造した。室温 23°C で、原材料 300 kgに、3.6%(w/w)の食塩水を120 kg加え、20分間ミキシングした。60分間ドウを熟成してから、60分間麺帯巻取り熟成し、2.2 mm厚に麺帯を圧延して、3.0 mm幅に切断した。切断したドウは、 24°C , R.H. 80%で2.5時間予備乾燥、 25°C , R.H. 75%で6時間本乾燥、 23°C , R.H. 50%で2.5時間もどし乾燥してから、210 mm長に裁断し、乾麺とした。

3.2.1.3. ゆで試料

貫入試験および官能評価に供した試料は、ステンレス鋼製鍋(直径27 cm, 容量5 L)にイオン交換水2 Lを入れ、電磁調理器((株)東芝製, MR-T1, 100 V仕様)を用いて、水温 25°C から蓋をして強火で加熱を開始した。沸騰状態が安定する加熱開始から12分後に乾麺160 gを投入し、強火のまま沸騰状態で13分間加熱した。加熱後直ちに、ボウル中の 20°C のイオン交換水2 Lに20秒間浸漬・冷却してから、ざるにあげて余分な水分を切り、ゆで試料とした。この直後の麺線温度は 28°C であった。

水分含量および咀嚼筋筋電位測定に供した試料は、一口量ごとに水道水1 Lで調製した。一口量は、第2章同様、乾麺重量で4.0 gに統一した。他の条件は、貫入試験および官能評価用試料の調製と同様とした。

3.2.2. 測定方法

3.2.2.1. 形状および一般成分

乾麺と調製直後から1分以内のゆで試料の、厚さ、幅、一口量重量および水分含量を測定した。厚さと幅は、単軸圧縮・引張型レオメータ（(株)山電製，レオナーRE-3305）の厚さ計を用いて測定した。水分含量は、赤外線水分計（(株)ケツト科学研究所製，FD-600）を用いて、試料5.00 gを135℃，60分間の条件¹⁰⁹⁾で、赤外線加熱乾燥法により測定した。また、乾麺について、たんぱく質はケルダール法，脂質は酸分解法，灰分は直接灰化法，炭水化物は差し引き法により求めた。

3.2.2.2. 貫入特性

調製後直ちに約3 cmの長さに切断し，乾燥と付着を防ぐため一本ずつ皿に並べてラップをしておいたゆで試料を，10分以内に測定に供した。予備試験により，測定までに大きな茹でのびの影響はないことを確認した。直径3.0 mmの円筒型ポリアセタール樹脂製プランジャー（No. 4）およびロードセル1.96 Nを装着した単軸圧縮・引張型レオメータ（(株)山電製，レオナーRE-3305）を用いて，貫入速度1.0 mm/sで，試料の高さの95%まで貫入した。1つの試料につき試料片7個以上を3回調製し，合計試料片数を21個以上とした。

3.2.2.3. 原材料の粒子径分布

レーザー回折散乱式粒子径・粒度分布測定装置（LEEDS&NORTHROP製，Microtrac FRA Version 10.4.0 - 225F）を用いて，原材料の粒子径分布を測定した。超音波発生装置（(株)日本精機製作所製，US-150T）で1分間イオン交換水中に分散させた原材料を測定に供した。粒子径基準は体積基準とし，スターチ粒子屈折率は1.53とした⁶⁸⁾。粒子径分布の積算値が20%，50%，80%に相当する粒子径を表すd20，d50，d80を測定し，粒子径分布幅の評価指標にはd80/d20を用いた。

3.2.2.4. 乾麺の構造観察（SEM）

両面テープを貼った試料台に乾麺を置き，蒸着装置（日本電子(株)製，MP-19010NCTR）で金を蒸着後，走査型電子顕微鏡（日本電子(株)製，JCM-5000）を用いて，高真空モード，加速電圧10 kV，倍率1000倍の条件で乾麺の性状観察を行った。画像計測合成ソフト（ケニス(株)製，フォトメジャーVer. 2）を用いて，観察画像中の澱粉粒子間の隙間面積を計測した。

3.2.2.5. 被験者

被験者は、高齢者 14 名（男性 2 名，女性 12 名，年齢 77.1 ± 7.5 歳），若年者 12 名（男性 2 名，女性 10 名，年齢 22.5 ± 3.0 歳）とした。歯の状態は、高齢者では、総義歯使用者 3 名，歯列に欠損がない部分義歯使用者 9 名，歯列に欠損がなく義歯を使用していない者 2 名であった。若年者では，全員，第三大臼歯以外歯列に欠損はなく，治療の必要がない状態であった。実験に先立ち，各被験者に本実験の趣旨を十分に説明し，ヘルシンキ宣言エジンバラ修正を遵守し行い，実験協力者としての同意を得た⁹³⁾。なお実験計画は，兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

高齢被験者の咀嚼・嚥下状況を客観的に把握するため，平井らの方法による 25 品目の摂食可能食品アンケート¹¹⁰⁾および窪田らの方法による水飲みテスト¹¹¹⁾を実施した。平井らの方法による摂食可能食品アンケート法は，主観的方法ではあるが，客観的方法とされる篩分法による咀嚼効率との間に高い相関が得られている客観性を有した方法である¹¹⁰⁾。また，全部床義歯装着者用に考案された方法であるが，残存歯数の少ない高齢者の集団に対しても，その使用が有効であることが判明している¹¹⁰⁾。摂食可能食品アンケートより，摂取可能率を表す咀嚼スコアを算出した¹¹⁰⁾。

3.2.2.6. 官能評価

つけ麺として食べることを想定し，調製後1分以内の試料約 50 g と麺つゆ 10 mL をお椀に入れて，位置効果に配慮して4種を同時に各被験者に提示した。麺つゆを飲まないよう指示した他は，自由に咀嚼・嚥下させた。普段食べているうどんを 0 点として，5段階評点法（-2～+2点）により8項目を評価させた。高齢者の評価は，調査者が聞き取って記録した。分析型評価項目は，「硬さ（識別）」（やわらかい（-2）⇔硬い（+2）），「こし（識別）」（こしが無い（-2）⇔こしがある（+2）），「なめらかさ（識別）」（ざらざら（-2）⇔つるつる（+2）），「食べやすさ」（食べにくい（-2）⇔食べやすい（+2））の4項目とした。嗜好型評価項目は，「硬さ（嗜好）」，「こし（嗜好）」，「なめらかさ（嗜好）」，「総合的な好ましさ」（嫌い（-2）⇔好き（+2））の4項目とした。「こし」の用語の意味は，適当に硬く粘りがあってやわらかいがプツンと切れにくいこと⁹⁸⁾とした。

3.2.2.7. 咀嚼筋筋電位

調製後1分以内の試料一口量と麵つゆ5 mLをお椀に入れて、ランダム順に2反復ずつ各被験者に提示した⁹⁴⁾。麵の全量を一口で入れること、麵つゆは飲まないこと、嚙んで食べることの3点を指示し、他は自由に咀嚼・嚙下させた。麵つゆの影響により麵が早く咽頭へ流し込まれることを防ぐため、麵つゆは飲まないよう指示した。また、麵を嚙む場合とすすめる場合では、すすめる場合の方が咀嚼の負担が大きい⁹⁴⁾ことが確認されており、食べ方の違いによる咀嚼への影響を極力排除するため、嚙んで食べるよう指示した。測定は、神山らの方法^{94),112)}に準じて行った。表面筋電位計測装置 ((有)追坂電子機器製, Personal-EMG) を用いて、閉口筋である左右の咬筋と開口筋群である舌骨上筋群に表面電極 (Ambu製, ブルーセンサーM-00-S) を貼り付けて、筋電位を1000倍に増幅して記録した。得られた筋電位から、多用途生体情報解析プログラム (キッセイコムテック(株)製, BIMUTAS II) を用いて咀嚼特性値を解析した。顕著な個人差の影響を排除するため、個人の値には2回の平均値を用いた。自由咀嚼を行わせたため、咬筋は左右の平均値を用いた⁹⁶⁾。咀嚼開始から嚙下終了までの全咀嚼過程から、咀嚼回数、咀嚼時間を求めた。咀嚼1回あたりの咀嚼周期、筋活動時間、筋電位振幅、筋活動量について、全咀嚼過程における平均 (全平均) を求めた。筋電位振幅、筋活動量については、咀嚼1回目 (初回)、咀嚼2~6回目の平均 (初期)、嚙下までの咀嚼回数の半数を中心とした5回の平均 (中期)、嚙下直前5回の平均 (後期) を求めた。咀嚼回数が15回に満たなかった場合は、初期、中期、後期いずれも3回の咀嚼の平均値を用いた⁹⁶⁾。

3.2.2.8. 統計解析

統計ソフト (エス・ピー・エス・エス(株)製, SPSS Statistics 17.0) を使用した。有意水準は5%とした。

水分含量および貫入特性値は、試料を要因として一元配置の分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には、その後の検定としてTukeyのHSDの方法による多重比較を行った。

官能評価値および咀嚼特性値は、試料と世代を要因として、対応あり×なしの二元配置の分散分析を行った¹⁰¹⁾。試料と世代の間には交互作用を考慮した⁹⁵⁾。交互作用に有意差が認められなかった場合は、交互作用を除外し、各要因の主効果の検定を行った。交互作用が有意に認められた場合は、単純主効果の検定を行い、試料別の特性値を世代ごとに解釈することとした^{101),102)}。いずれの場合も、試料に有意差が認められた場合には、全4水準間について、対応のあるt検定を行い、Bonferroniの方法による多重比較の修正を行った^{96),101)}。

3.3. 実験結果

3.3.1. 形状および一般成分

乾麺の形状および一般成分は、Table 3-1の上段のとおりであった。いずれの形状も、厚さ約2 mm、幅約3 mm、長さ210 mmであったが、エステル化タピオカ澱粉を混合した6%、10%、15%は、0%よりもわずかに薄かった。

ゆで試料の形状、一口量重量、水分含量は、Table 3-1の下段のとおりであった。6%、10%、15%が0%よりも有意に水分が多かった。

Table 3-1. Dried and boiled noodles in this study

Mixing ratio of esterified tapioca starch	0%	6%	10%	15%	
Dried	Thickness × width × length (mm)	1.9×2.9 ×210	1.5×2.9 ×210	1.6×2.9 ×210	1.6×2.9 ×210
	Moisture content (%)	11.4±0.6	13.1±0.1	13.0±0.2	13.0±0.2
	Carbohydrate (%)	76.9	76.6	76.5	76.3
	Protein (%)	8.8	7.8	8.0	8.2
	Lipids (%)	1.4	1.1	1.1	1.0
	Ash (%)	1.5	1.4	1.4	1.5
Boiled	Thickness × width (mm)	2.5×4.2	2.0×4.4	2.2×4.5	2.2×4.5
	Weight of a mouthful (g)	10.9±0.2	11.8±0.4	11.7±0.2	12.0±0.2
	Moisture content (%)	70.7±0.3 ^b	73.8±0.3 ^a	73.9±0.5 ^a	73.2±0.3 ^a
	Penetrating force under strain 0.95 (N)	1.38±0.19 ^a	1.20±0.24 ^b	1.18±0.20 ^b	1.22±0.18 ^b

Moisture content : Loss on drying test, 135 °C, 60 min.

Weight of a mouthful of boiled noodles: after boiled 4.0 g dried noodles.

Penetrating test : Crosshead speed 1.0 mm/s, Plunger $\phi=3.0$ mm, $n \geq 21$,

Measurement temperature 25±4 °C.

** p<0.01, *** p<0.001.

Values followed by a different letter within a row are significantly different (p<0.05).

3.3.2. 貫入特性

得られた貫入曲線をFig. 3-1に示す。明確な破断点はみられなかった。うどんは、水分勾配による硬さの不均一性が特徴的な食品であるが^{22),23)}、不均質試料の貫入曲線は各部位ごとの硬さを連続的に示す⁷⁷⁾。また、極大変形下での力学抵抗性は咀嚼初期の挙動と最も対応する⁹⁷⁾。本研究では、咀嚼特性を検討したいため、貫入特性値として、最大貫入歪0.95における荷重を求め、硬さの評価指標とした。

貫入歪0.95における荷重をTable 3-1の下段に示す。6%、10%、15%が0%よりも有意に小さな荷重を示した。

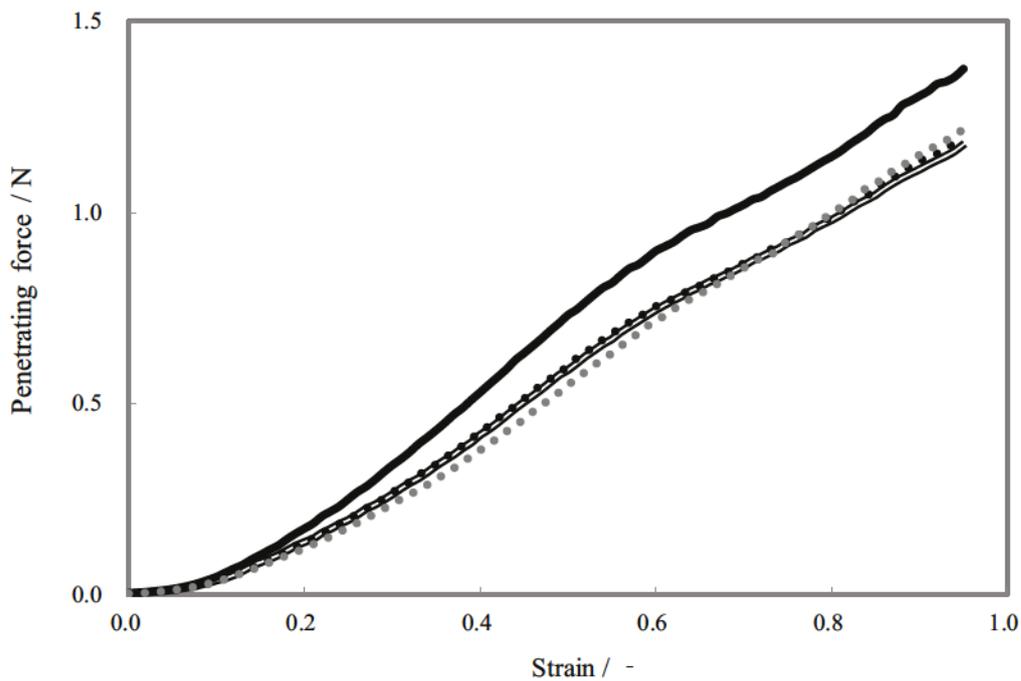


Fig. 3-1. Force-strain curves of boiled noodles

Crosshead speed: 1.0 mm/s. Plunger: $\phi=3.0$ mm.

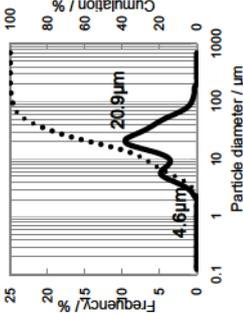
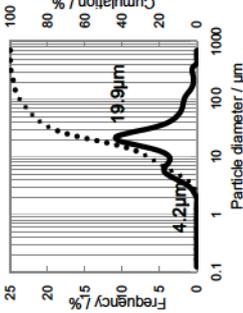
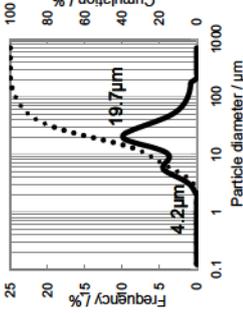
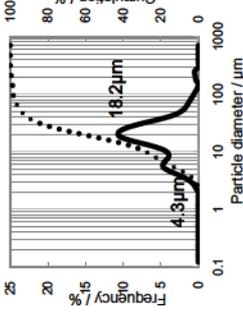
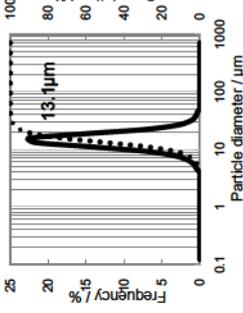
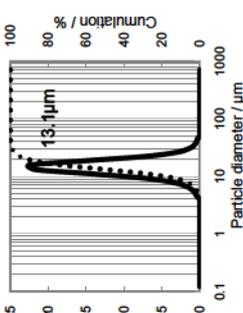
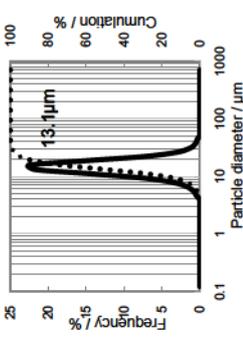
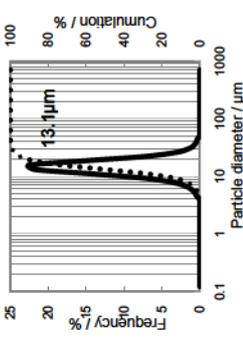
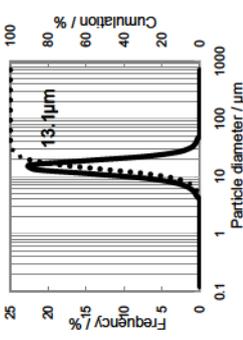
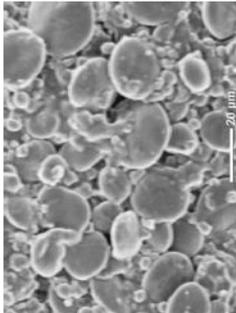
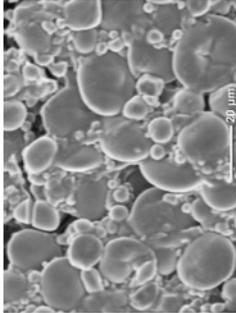
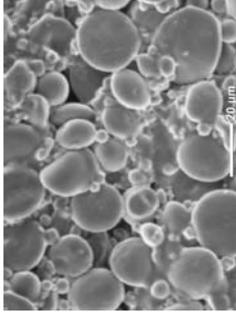
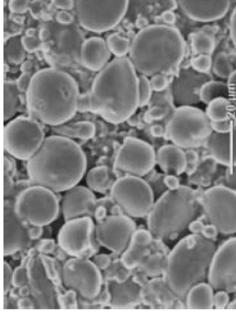
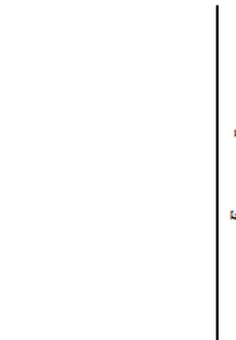
$n \geq 21$. Measurement temperature: 25 ± 4 °C.

—, 0%; , 6%; ———, 10%; , 15%.

3.3.3. 原材料の粒子径分布および乾麺の構造

原材料の粒子径分布と乾麺のSEM観察の結果をTable 3-2に示す。原材料の粒子径分布では、中力小麦粉（0%）は、 d_{50} が $17.7\ \mu\text{m}$ 、 d_{80}/d_{20} が4.8であり、 $4.6\ \mu\text{m}$ と $20.9\ \mu\text{m}$ に二峰性のピークを示した。エステル化タピオカ澱粉は、 d_{50} が $13.1\ \mu\text{m}$ 、 d_{80}/d_{20} が1.7であり、 $13.1\ \mu\text{m}$ に単一のピークを示した。これらを混合した6%、10%、15%では、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度が高くなるほど、 d_{50} は小さくなり（6%で $18.0\ \mu\text{m}$ 、10%で $17.6\ \mu\text{m}$ 、15%で $16.6\ \mu\text{m}$ ）、 d_{80}/d_{20} の分布幅は狭くなった（6%で4.5、10%で4.4、15%で3.9）。乾麺のSEM観察では、澱粉粒子間の隙間面積は、10%が0%よりも有意に広がった。エステル化タピオカ澱粉の混合が10%までは隙間面積が広がるが、15%まで混合すると隙間面積は狭くなる傾向にあった。

Table 3-2. Particle size distribution of materials and scanning electron micrographs of dried noodles

Particle size distribution of materials	0%		6%		10%		15%		esterified tapioca starch
	Frequency / %	Cumulation / %	Frequency / %	Cumulation / %	Frequency / %	Cumulation / %	Frequency / %	Cumulation / %	
volume basis									
d50 (µm)	17.7	18.0	17.6	16.6	13.1				
d80/d20	4.8	4.5	4.4	3.9	1.7				
SEM of dried noodles									
10kV, ×1000									
Area of voids (µm ²)	660 ± 107 ^b	810 ± 86 ^{ab}	1172 ± 194 ^a	701 ± 85 ^{ab}	6.77				

Area of voids: Area per visual field 10892 µm².

* $p < 0.05$. Values followed by a different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$).

3.3.4. 高齢被験者の咀嚼・嚥下状況

高齢者は、全被験者とも、通常、常食もしくは軟食を摂食していた。摂食可能食品アンケートより算出した咀嚼スコアは、54%が1名、59%が1名、76%が1名、77%が1名、80%が1名、84%が1名、90%が1名、94%が2名、100%が5名であった。水飲みテストでは、常温の水30 mLを通常どおりに飲んでもらったところ、5秒間以内に1回でむせることなく飲んだ嚥下正常範囲の者が7名、5秒間以上かかったり2回以上に分けたりしたがむせることなく飲んだ、嚥下開始困難などの嚥下障害の疑いがあった者が7名であった。

3.3.5. 官能評価

いずれの評価項目も官能評価値の分散分析による交互作用に有意差は認められなかったため、交互作用を除外し、試料と世代の主効果をそれぞれ検討した。

試料ごとの官能評価値をTable 3-3に示す。分析型評価項目では、硬さ（識別）と食べやすさにおいて試料間に有意差が認められた。硬さ（識別）の評点は、6%および10%が0%よりも有意に低く、15%が0%よりも低い傾向にあった。食べやすさの評点は、10%が0%よりも有意に高く、6%と15%が0%よりも高い傾向にあった。こし（識別）の評点は10%で最も低く、なめらかさ（識別）の評点は10%で最も高い傾向にあった。嗜好型評価項目では、なめらかさにおいて試料間に有意差が認められ、評点は10%が0%よりも有意に高く、6%と15%が0%よりも高い傾向にあった。

世代ごとの官能評価値をTable 3-4に示す。分析型評価項目では、すべての項目で世代間に有意差は認められなかった。高齢者の方が、硬さ（識別）とこし（識別）の評点が高く、食べやすさの評点が低い傾向にあった。嗜好型評価項目では、硬さ（嗜好）とこし（嗜好）の評点は高齢者の方が有意に低かった。

Table 3-3. Effects of samples on sensory evaluation of boiled noodles

		0%	6%	10%	15%	<i>F</i>	<i>p</i>
Perception	Hardness	1.00±1.02 ^a	0.38±0.85 ^b	0.15±1.08 ^b	0.35±1.16 ^{ab}	6.90	***
	Koshi	0.85±1.12	0.38±1.13	0.27±0.96	0.38±1.13	2.00	n.s.
	Smoothness	0.08±1.16	0.46±0.95	0.73±1.04	0.54±1.03	1.95	n.s.
	Ease to eat	-0.46±1.33 ^b	0.19±1.13 ^{ab}	0.50±1.14 ^a	0.12±1.07 ^{ab}	5.33	**
Palatability	Hardness	-0.46±1.07	0.00±1.13	-0.08±1.13	-0.31±1.12	1.57	n.s.
	Koshi	-0.46±1.07	0.08±1.32	0.00±0.98	0.00±1.20	1.85	n.s.
	Smoothness	0.19±1.17 ^b	0.50±0.99 ^{ab}	0.88±1.11 ^a	0.46±1.03 ^{ab}	2.39	*
	Overall	-0.12±1.48	0.12±1.31	0.42±1.21	0.46±1.21	1.74	n.s.

n=26.

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, n.s.: not significant.

Values followed by a different letter within a row are significantly different (p<0.05).

Table 3-4. Effects of generation on sensory evaluation of boiled noodles

		The youth	The elderly	<i>F</i>	<i>p</i>
Perception	Hardness	0.25 ± 1.02	0.66 ± 1.08	1.62	n.s.
	Koshi	0.40 ± 1.11	0.54 ± 1.09	0.24	n.s.
	Smoothness	0.48 ± 0.92	0.43 ± 1.17	0.04	n.s.
	Ease to eat	0.35 ± 0.93	-0.14 ± 1.37	2.14	n.s.
Palatability	Hardness	0.19 ± 0.96	-0.55 ± 1.13	5.91	*
	Koshi	0.27 ± 1.03	-0.41 ± 1.17	4.72	*
	Smoothness	0.50 ± 0.90	0.52 ± 1.24	0.00	n.s.
	Overall	0.44 ± 1.05	0.04 ± 1.48	1.13	n.s.

The youth: n=12 (age: 22.5±3.0). The elderly: n=14 (age: 77.1±7.5).

* p<0.05, n.s.: not significant.

3.3.6. 咀嚼筋筋電位

得られた筋電位の一例と咀嚼特性値をFig. 3-2に示す。咀嚼特性値の解析について、第2章ではPersonal-EMGのソフトウェアを用い、本章では多用途生体情報解析プログラムBIMUTAS IIを用いた。筋電位は絶対値ではなく相対値で評価され、ソフトウェアにより積分値の計算方法が変わるため、第2章と本章の筋活動量および総筋活動量の値は単純比較できない。

いずれの咀嚼特性値も分散分析による交互作用に有意差は認められなかったため、交互作用を除外し、試料と世代の主効果をそれぞれ検討した。

試料ごとの咀嚼特性値をTable 3-5に示す。いずれの咀嚼特性値も試料間に有意差は認められなかった。

世代ごとの咀嚼特性値をTable 3-6に示す。咬筋の筋活動時間および筋活動量（後期）は、高齢者の方が有意に長く、大きかった。咬筋の振幅（全平均、初回、初期、中期）、舌骨上筋群の振幅（全平均、初回、初期、中期、後期）および筋活動量（全平均、初期、中期、後期）は、高齢者の方が有意に小さかった。

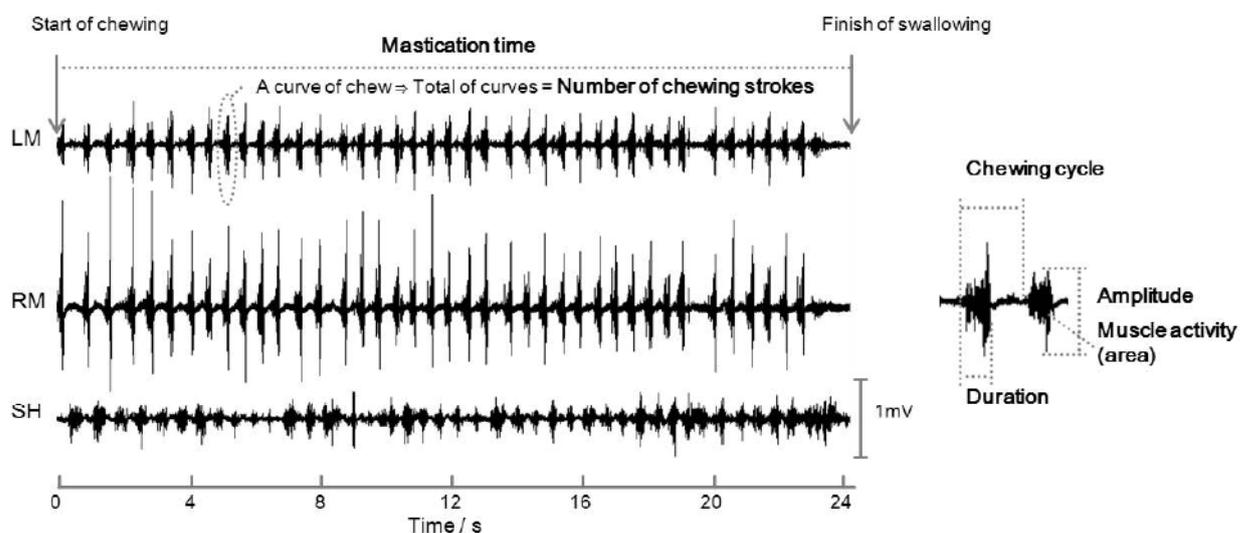


Fig. 3-2. An example of electromyogram and electromyographic parameters while eating noodles

A young subject, 0% sample.

LM: left masseter muscle. RM: right masseter muscle.

SH: suprahyoid musculature.

Table 3-5 Effects of samples on electromyographic parameters of boiled noodles

	0%	6%	10%	15%	F	P
Number of chewing strokes	43.4±25.9	41.6±24.2	42.5±23.5	41.5±19.8	0.40	n.s.
Mastication time (s)	30.4±15.3	30.0±15.3	29.9±13.9	30.1±12.9	0.07	n.s.
Chewing cycle (s)	0.721±0.179	0.718±0.208	0.720±0.191	0.726±0.191	0.77	n.s.
Duration (s)	0.396±0.109	0.395±0.097	0.396±0.102	0.402±0.119	0.26	n.s.
Amplitude (mV)	0.758±0.431	0.741±0.434	0.754±0.438	0.735±0.412	2.21	n.s.
" at first chew	0.685±0.433	0.691±0.410	0.682±0.441	0.648±0.371	0.63	n.s.
" in early stage	0.818±0.488	0.800±0.493	0.814±0.483	0.807±0.470	0.35	n.s.
" in middle stage	0.824±0.480	0.806±0.482	0.824±0.498	0.799±0.445	0.84	n.s.
" in late stage	0.509±0.295	0.496±0.293	0.510±0.249	0.485±0.260	0.63	n.s.
Muscle activity (mV·s)	0.0206±0.0098	0.0202±0.0093	0.0202±0.0092	0.0199±0.0094	0.73	n.s.
" at first chew	0.0187±0.0104	0.0184±0.0089	0.0180±0.0095	0.0173±0.0085	0.62	n.s.
" in early stage	0.0223±0.0109	0.0229±0.0118	0.0224±0.0105	0.0227±0.0117	0.24	n.s.
" in middle stage	0.0205±0.0095	0.0206±0.0091	0.0209±0.0096	0.0205±0.0096	0.16	n.s.
" in late stage	0.0185±0.0114	0.0173±0.0089	0.0174±0.0087	0.0175±0.0103	0.57	n.s.
Duration (s)	0.431±0.106	0.434±0.104	0.430±0.089	0.440±0.089	0.23	n.s.
Amplitude (mV)	0.464±0.186	0.455±0.192	0.438±0.208	0.444±0.196	1.61	n.s.
" at first chew	0.501±0.343	0.438±0.201	0.449±0.231	0.451±0.226	1.13	n.s.
" in early stage	0.485±0.236	0.474±0.231	0.464±0.251	0.455±0.216	0.68	n.s.
" in middle stage	0.445±0.196	0.450±0.205	0.442±0.241	0.435±0.215	0.25	n.s.
" in late stage	0.506±0.196	0.491±0.181	0.469±0.195	0.470±0.191	0.68	n.s.
Muscle activity (mV·s)	0.0236±0.0120	0.0228±0.0110	0.0215±0.0112	0.0220±0.0106	1.65	n.s.
" at first chew	0.0272±0.0328	0.0214±0.0126	0.0215±0.0157	0.0225±0.0140	0.94	n.s.
" in early stage	0.0218±0.0136	0.0214±0.0112	0.0205±0.0110	0.0207±0.0114	0.25	n.s.
" in middle stage	0.0214±0.0124	0.0204±0.0111	0.0196±0.0129	0.0191±0.0107	1.02	n.s.
" in late stage	0.0349±0.0224	0.0335±0.0166	0.0331±0.0194	0.0327±0.0200	0.30	n.s.

26 subjects × 2 replicates. Masseter muscles: average of left and right masseter muscles.
n.s., not significant.

Table 3-6 Effects of generation on electromyographic parameters of boiled noodles

	The youth	The elderly	F	P
Number of chewing strokes	40.2±15.9	44.0±27.9	0.38	n.s.
Mastication time (s)	28.4±10.8	31.6±16.5	0.33	n.s.
Chewing cycle (s)	0.690±0.106	0.748±0.237	0.17	n.s.
Duration (s)	0.341±0.054	0.446±0.115	8.84	**
Amplitude (mV)	0.935±0.345	0.586±0.419	4.98	*
" at first chew	0.874±0.444	0.507±0.284	6.69	*
" in early stage	1.034±0.415	0.617±0.443	5.86	*
" in middle stag	1.044±0.386	0.615±0.447	6.54	*
" in late stage	0.532±0.196	0.472±0.321	0.32	n.s.
Muscle activity (mV·s)	0.0205±0.0080	0.0200±0.0103	0.02	n.s.
" at first chew	0.0189±0.0101	0.0174±0.0085	0.18	n.s.
" in early stage	0.0240±0.0106	0.0214±0.0114	0.35	n.s.
" in middle stag	0.0219±0.0084	0.0195±0.0100	0.42	n.s.
" in late stage	0.0138±0.0054	0.0210±0.0113	4.38	*
Duration (s)	0.449±0.095	0.420±0.096	0.68	n.s.
Amplitude (mV)	0.574±0.192	0.344±0.115	14.26	***
" at first chew	0.599±0.282	0.341±0.144	12.43	**
" in early stage	0.614±0.231	0.346±0.143	14.19	***
" in middle stag	0.571±0.227	0.334±0.116	12.36	**
" in late stage	0.609±0.175	0.376±0.122	14.19	***
Muscle activity (mV·s)	0.0280±0.0109	0.0177±0.0089	7.39	*
" at first chew	0.0287±0.0250	0.0184±0.0137	3.08	n.s.
" in early stage	0.0268±0.0106	0.0162±0.0103	8.66	**
" in middle stag	0.0248±0.0115	0.0161±0.0103	4.70	*
" in late stage	0.0438±0.0215	0.0247±0.0118	9.85	**

The youth: 12 subjects (age: 22.5±3.0) × 2 replicates. The elderly: 14 subjects (age: 77.1±7.5) × 2 replicates.

Masseter muscles: average of left and right masseter muscles.

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, n.s., not significant.

3.4. 考察

3.4.1. 試料の特性・嗜好性・咀嚼特性に及ぼす濃度の影響

エステル化タピオカ澱粉の混合濃度は、タピオカ澱粉の混合が5%以上ではうどんになめらかな食感が付与され⁴³⁾、30%以上では食感のバランスが崩れやすい⁸⁸⁾との報告を参考に決定した。6%は第1章および第2章で用いた市販乾麺と同濃度として選定した。また、15%以上の混合についても試みたが、本章における麺線の形状への成形は困難であった。

乾麺の形状について、エステル化タピオカ澱粉を混合すると、たんぱく質が少なく、グルテンの形成が少なくなるため、ドウの抗張力が低くなったことと、エステル化タピオカ澱粉は中力小麦粉よりも吸水しやすかったことにより、ドウが伸びやすく、乾麺が薄くなったと考えられる。

エステル化タピオカ澱粉を混合すると、混合濃度に関わらず、0%よりも有意に水分が多くて、やわらかくなった。

10%が最も澱粉粒子間の隙間が広い乾麺構造であった。10%までの混合では、中力小麦粉の4.6 μm 付近の小粒子群や20.9 μm 付近の大粒子群が減った影響で澱粉粒子間の隙間が広がったが、15%まで混合すると、エステル化タピオカ澱粉の13.1 μm 付近の中粒子群が増えた影響で再び隙間が埋められる傾向にあったと推察される。そのため、今回の形状では、10%が最も十分な吸水と澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすかったと推察され、このことは、官能評価において、10%が0%よりも有意にやわらかくて食べやすいと識別され、なめらかさが好まれたこととよく対応していると考えられる。

咬筋の咀嚼特性値は、咀嚼する食品の硬さに関与し、舌骨上筋群の咀嚼特性値は、付着性に関与する⁸⁾。したがって、本研究では、咬筋は、うどんの硬さやこし、またなめらかさも含めた複合的な物性による噛みやすさとの関連を示すと考えられ、舌骨上筋群は、力学特性値として付着性を評価していないが、なめらかなうどんは、口腔内に付着しにくいと考えられるため、なめらかさとの関連を示すと考えられる。官能評価では、10%が0%よりも有意に食べやすいと判断されたが、今回の硬さやこし、なめらかさの違いでは、いずれの咀嚼特性値にも試料の有意な影響は認められなかった。

水分の多い食品ほど噛みやすく⁹⁷⁾、食塊形成には一定量の唾液分泌量が必要である⁹³⁾ことが報告されている。第2章では、高齢者において、水分の多いうどんが食べやすい理由から好まれた。このことから、うどんの水分は、唾液分泌量の低下を補って食塊形成を促し、咀嚼の負担を少なくしたことが示唆された。しかし、本研究では、6%、10%、15%の水分が0%よりも同程度に多かったにも関わらず、官能評価において、10%のみが0%よりも有意に食べやすいと両世代に判断された。したがって、うどんの食べやすさには、うどん全体の水分だけでなく、水分勾配による硬さの不均一性や表面の水分量およびなめらかさが影響した可能性が推察される。今後、物性差が今回よりも大きい試料を用いて、水分分布と咀嚼特性の関係についての十分な検討が必要である。

3.4.2. 嗜好性・咀嚼特性の世代間の比較

高齢者は、若年者と比べ、本章で提供したうどんよりも、やわらかくてこしの弱いうどんを好むと考えられる。

高齢者の咬筋および舌骨上筋群の筋電位振幅が若年者よりも小さく、咬筋の筋活動時間が長かったことは、高齢者は咀嚼能力の低下を、咀嚼の時間を増やして対応する¹⁰⁴⁾との報告と一致した。また、高齢者は咀嚼力が低下するため、若年者と同じ硬さのうどんを食べた場合でも、若年者よりも硬くて食べにくいと識別する傾向にあり、その硬さを有意に好まなかったと推察される。

咬筋と舌骨上筋群の筋活動量（後期）に着目すると、咬筋の活動量は高齢者の方が若年者よりも大きく、舌骨上筋群の活動量は高齢者の方が若年者よりも小さかった。嚥下時には、咬筋と舌骨上筋群が同時に活動するが、筋活動量（後期）には、最終嚥下時の筋電位が含まれている。高齢者の多くに、口腔乾燥や咽頭周囲の筋の機能低下がみられ¹¹³⁾、嚥下運動の口腔期には、口腔乾燥状態により唾液が口腔での咽頭への送り込みに関与できない状態になると、関連する器官がより強く代償的に運動する可能性があるが、このことは明らかではない¹¹⁴⁾とされてきた。本研究の結果より、高齢者は、嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を、咬筋を強く動かすことで補い、最終嚥下を行っていることが示唆された。

3.5. 小括

エステル化タピオカ澱粉を0%, 6%, 10%, 15%混合し, 13分間ゆでたうどんの, 物性と, 高齢者および若年者における嗜好性, 咀嚼特性を検討した。

エステル化タピオカ澱粉を混合すると, 0%よりも有意に水分が多く, やわらかいうどんになった。この中で, 10%が, 最も澱粉粒子間の隙間が広く, 澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすい乾麺構造をもち, 高齢者・若年者の両世代において, 0%よりも有意にやわらかく食べやすいと識別され, なめらかさが好まれた。しかし, 咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。

高齢者と若年者の嗜好性・咀嚼特性を比較すると, 高齢者は, 若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合, 咀嚼力が低下するため, 同じ硬さであっても, その硬さを有意に好まなかった。また, 高齢者では, 嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を, 咬筋を強く動かすことで補い, 最終嚥下を行っていることが示唆された。

第4章 総括

本研究では、澱粉質食品の、余熱利用調理における調理性改善および高齢者向け食品としての食感制御を目的として、中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉を混合したうどんを用いて、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係についての評価を行った。

物性について、第1章および第3章より、うどんにエステル化タピオカ澱粉を混合すると、中力小麦粉とエステル化タピオカ澱粉の粒子径分布や粒形態が異なったため、混合濃度により、乾麺構造における澱粉粒子間の隙間の広さに違いが見られ、澱粉粒の膨潤・糊化に影響し、麺の物性に影響することが分かった。第3章より、10%の混合が、最も澱粉粒子間の隙間が広く、ゆでた場合に澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすく、やわらかいうどんになることが分かった。物性制御においては、原料起源に特有な澱粉の特性や、アミロース/アミロペクチンなどの構成成分の影響だけでなく、澱粉の粒子径や麺の構造といった幾何学的特性を考慮することが重要であることが示唆された。また、第1章の余熱利用調理を導入した場合の若年者による「総合的な好ましさ」の官能評価では、10%が最も好まれない結果を得たが、第3章のゆで調理で示されたように、余熱利用調理を導入した場合においても、10%では、澱粉粒の膨潤・糊化が最も進行しやすく、やわらかくなり、そのやわらかさが若年者には好まれなかったためと推察される。

第1章における余熱利用調理の検討には、エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を用いた。エステル化タピオカ澱粉を6%混合すると、余熱利用調理を導入した場合においても、糊化が進行し続け、加熱時間の延長によるやわらかさの調節ができた。また、ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入したエステル化タピオカ澱粉6%混合麺(ETS3+6)は、ゆでのみ10分間の麺(WF10+0, ETS10+0)と硬さは変わらないが、強いこしが得られ、若年者において嗜好的に最も好まれる傾向にあった。したがって、エステル化タピオカ澱粉6%の混合は、麺の余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。余熱利用調理の調理性が改善され、余熱利用調理が普及することは、省エネルギー対策に有効であるだけでなく、給食などの大量調理において、調理員の作業中の暑さの負担を減らすという点でも有効であると考えられる。また、家庭での調理においては、余熱利用調理中は熱源のスペースが空くため、空いた熱源を利用して、副菜の調理が追加でき、食事全体の栄養バランスを整えることにも役立てられると考えられる。研究成果を普及させるためには継続的な情報発信が重要であり、今後の課題としたい。

物性と咀嚼特性および嗜好性の関係について、第2章および第3章で検討した。エステル化タピオカ澱粉混合麺は、なめらかで粘着性が少ない食感を示し、第1章の結果より、加熱時間によるやわらかさの調節がしやすいことが分かった。したがって、第2章では、エステル化タピオカ澱粉を6%混合したうどんを通常の10分間より長く13分間ゆで、高齢者向け食品としての適性を検討した。第1章では、余熱利用調理を導入したが、第2章では、省エネルギー対策の検討は目的としな

かったため、通常家庭で普及しているゆで調理によりうどんの調製を行い、物性を調節した。今後は、省エネルギー対策をしながら、高齢者向け食品について検討することも必要であろう。高齢者向け食品には、摂食者の咀嚼機能の程度に応じた食べやすさや、咀嚼機能の維持ができる物性が要求される。エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を13分間ゆでたうどん(ETS13)は、水分量が増加し、高齢者において食べやすくかつ無理なく咀嚼機能維持に役立てられる物性を示し、嗜好的に好まれることが分かった。食べやすいことと、咀嚼機能維持に役立つことは、相反する特性とも考えられるが、両方の特性を満たす物性の範囲が存在する可能性が示唆された。今後、様々な物性の食品を用いてデータを蓄積し、このような物性の範囲について十分な知見を得ることが必要である。第3章では、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度を0%~15%に変えて、高齢者向け食品としての適性を検討した。10%が、若年者・高齢者の両世代において、0%よりも有意にやわらかくて食べやすいと識別されたが、咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。感知される感覚の違いは、必ずしも咀嚼筋の筋活動に影響しないことが示唆された。また、これまで、水分の多い食品ほど噛みやすい⁹⁷⁾とされてきた。第2章でもそのような結果が示されたが、第3章では、うどんの食べやすさには、うどん全体の水分量だけでなく、水分勾配による硬さの不均一性や表面の水分量およびなめらかさが影響した可能性が推察された。澱粉質食品はエネルギー源となるため、食が細り低栄養に陥りやすい高齢者にとって、その摂取は健康維持に重要なものである¹⁴⁾。食べやすくするために水分量を増やして物性を調節することは、多少なりとも相対的に澱粉の摂取量を減らすことになるため、場合によっては低栄養を招く原因となりうる。水分量を変化させなくても、水分勾配により食べやすさが調節できれば、栄養摂取において好都合である。今後は、水分分布と咀嚼特性の関係について明らかにしていきたい。

また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性に違いが見られた。第2章では、高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っており、食べやすい麺をおいしいと評価したのに対し、若年者は硬さやこしによる噛みごたえのある麺をおいしいと評価した。第3章では、高齢者は、若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合、咀嚼力が低下するため、同じ硬さであっても、その硬さを有意に好まなかった。また、高齢者では、嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を、咬筋を強く動かすことで補い、最終嚥下を行っていることが示唆された。高齢者と若年者の咀嚼特性および嗜好性は異なることを理解して、高齢者向け食品の物性を制御していくことが重要である。

以上より、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、余熱利用調理の調理性改善に有効であり、高齢者向け食品としての適性があった。エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性制御には、原料起源に特有な澱粉の特性や、アミロース/アミロペクチンなどの構成成分だけでなく、澱粉の粒子径分布や麺の構造といった幾何学的特性の考慮が重要であった。また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性が異なった。

参考文献

- 1) 吉村美紀, 食品混合ゲル, 日本調理科学会誌, 34, 424-431 (2001).
- 2) 山野善正, おいしさとは何か, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編 (サイエンスフォーラム, 千葉), p. 25 (2010).
- 3) 勝田啓子, おいしさとその構成要素, 「新食感事典」, 復刻版, 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準編 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 20-27 (2007).
- 4) 西成勝好, 食感とは何か, 「新食感事典」, 復刻版, 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準編 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 28-35 (2007).
- 5) 西成勝好, 食感とは何か, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編 (サイエンスフォーラム, 千葉), p. 19 (2010).
- 6) 人口推計, 総務省統計局 HP, <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/new.htm> (2015. 1. 21.).
- 7) 平成 26 年 (2014) 人口動態統計の年間推計, 厚生労働省 HP, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikou14/index.html> (2015. 1. 23.).
- 8) 金谷節子, 嚥下困難者のための食, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編 (サイエンスフォーラム, 千葉), p. 125 (2010).
- 9) 神山かおる, テクスチャー解析によるおいしさの評価, 化学と生物, 47, 133-137 (2009).
- 10) 田中和子, 堀内ふき, 脳血管障害により胃瘻を造設している在宅療養者の経口摂取併用に関する課題と主介護者からみた意味, 老年看護学, 15, 73-79 (2011).
- 11) 大越ひろ, 高齢者食・介護食に求められるテクスチャー, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 143-149 (2010).
- 12) 三神彩子, 環境に配慮した食生活「エコ・クッキング」が地球環境問題の改善に与える影響, 日本調理科学会誌, 45, 323-331 (2012).
- 13) 吉村美紀, 西成勝好, でん粉, 「天然・生体高分子材料の新展開」, 普及版, 宮本武明, 赤池敏宏, 西成勝好編 (シーエムシー出版, 東京), pp. 33-45 (2003).
- 14) 吉村美紀, 高齢者向け食品におけるでん粉の利用, でん粉情報, 41, 22-25 (2011).
- 15) 高橋禮治, でん粉の科学, 「でん粉製品の知識」, 初版一部改訂 (幸書房, 東京), pp. 35-91 (2000).
- 16) 貝沼圭二, 澱粉粒と固体構造, 「澱粉科学の事典」, 普及版, 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編 (朝倉書店, 東京), p. 39 (2010).
- 17) 檜作進, 澱粉の分子構造, 「澱粉科学の事典」, 普及版, 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編 (朝倉書店, 東京), p. 11 (2010).

- 18) 高橋禮治, でん粉の製造法と利用特性, 「でん粉製品の知識」, 初版一部改訂 (幸書房, 東京), pp. 13-34 (2000).
- 19) 山田哲也, 澱粉の機能的性質, 「澱粉科学の事典」, 普及版, 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編 (朝倉書店, 東京), p. 193 (2010).
- 20) 高橋幸資, 澱粉の あばれ の制御, 日本食品科学工学会誌, 61, 557-561 (2014).
- 21) 高橋禮治, 麺類, 「でん粉製品の知識」, 初版一部改訂 (幸書房, 東京), pp. 154-164 (2000).
- 22) 四宮陽子, 破断試験によるゆで麺のテクスチャーの特徴と官能評価との関係, 日本調理科学会誌, 33, 198-203 (2000).
- 23) 小島登貴子, 関根正裕, 鈴木敏正, 堀金明美, 永田忠博, ゆで麺のテクスチャーに対する水分分布の影響, 日本食品科学工学会誌, 47, 142-147 (2000).
- 24) Mestres, C., Colonna, P., & Buleon, A., Characteristics of Starch Networks within Rice Flour Noodles and Mung Bean Starch Vermicelli. *Journal of Food Science*, 53, 1809 (1988).
- 25) Kim, Y.S., Wiesenborn, D. P., Lorenzen, J. H., & Berglund, P., Suitability of Edible Bean and Potato Starches for Starch Noodles. *Cereal Chemistry*, 73, 302-308 (1996).
- 26) Ross, A. S., Quail, K. J., & Crosbie, G. B., Physicochemical properties of Australian flours influencing the texture of yellow alkaline noodles. *Cereal Chemistry*, 74, 814-820 (1997).
- 27) Hou, G., Oriental noodles. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43, 141-193 (2001).
- 28) 勝田啓子, 食感の表現法, 「新食感事典」, 復刻版, 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準編 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 36-47 (2007).
- 29) 安藤剛久, めんの食味・食感, 「改訂 3 版乾めん入門」, 改訂 3 版 (日本食糧新聞社, 東京), pp. 153-159 (2008).
- 30) Crosbie, G.B., Lambe, W. J., Tsutsui, H., & Gilmour, R.F., Further Evaluation of the Flour Swelling Volume Test for Identifying Wheats Potentially Suitable for Japanese Noodles. *Journal of Cereal Science*, 15, 271-280 (1992).
- 31) Konik, C.M., Miskelly, D.M., & Gras, P.W., Contribution of Starch and Non-starch Parameters to the Eating Quality of Japanese White Salted Noodles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 403-406 (1992).
- 32) Charles, A.L., Huang, T.C., Lai, P.Y., Chen, C.C., Lee, P.P., & Chang, Y.H., Study of Wheat Flour-Cassava Starch Composite Mix and the Function of Cassava Mucilage in Chinese Noodles. *Food Hydrocolloids*, 21, 368-378 (2007).
- 33) 安藤剛久, 原材料, 「改訂 3 版乾めん入門」, 改訂 3 版 (日本食糧新聞社, 東京), pp. 57-63 (2008).

- 34) 児島雅博, 外川達秋, 村瀬誠, 戸谷精一, 杉本勝之, 麵の組織構造と物性に及ぼす加水量及び食塩量の影響, 日本食品科学工学会誌, 42, 899 - 906 (1995).
- 35) Crosbie, G.B., The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 13, 145 (1991).
- 36) Wang, L., Seib, P.L., Australian salted-noodle flours and their starches compared to U.S. wheat flours and their starches., *Cereal Chemistry*, 73, 167 (1996).
- 37) Jun, W. J., Seib, P.A., Chung, O.K., Characteristics of noodle flours from Japan, *Cereal Chemistry*, 76, 820 (1998).
- 38) Oda, M., Yasuda, Y., Okazaki, S., Yamauchi, Y., & Yokoyama Y., A Method of Flour Quality Assessment for Japanese Noodles. *Cereal Chemistry*, 57, 253-254 (1980).
- 39) Hatsugai, S., Kawabata, Y., Fujiwara, A., Kojima, H., Harada, H., Kudo, K., & Ohara, S., Process for Producing Rapid-Cooking Noodles. United States Patent, 4, 590,083 (1986).
- 40) Ishigaki, T., Saito, H., & Fujita, A., Process for Producing Extruded Noodle Capable of Being Instantly Cooked. United States Patent, 5, 332,592 (1994).
- 41) 安藤剛久, 乾めんの生産と消費, 「改訂 3 版乾めん入門」, 改訂 3 版 (日本食糧新聞社, 東京), pp. 37-44 (2008).
- 42) Tan, H.-Z., Li, Z.-G., & Tan, B., Starch noodles: history, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42, 551-576 (2009).
- 43) 横山公一, でん粉の麵用途における最近の動向, でん粉情報, 32, 1-7 (2010).
- 44) Kasemsuwan T., Bailey, T., & Jane, J., Preparation of Clear Noodles with Mixtures of Tapioca and High-Amylose Starches. *Carbohydrate Polymers*, 32, 301-312 (1998).
- 45) William, F. B., Kuakoon, P., Klanarong, S., Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. *Starch: Chemistry and Technology*, Third Editoin, pp. 541-568 (2009).
- 46) 佐藤晋, 高橋禮治, でん粉の特性と添加による麵質の改良, ジャパンフードサイエンス, 31, 55-60 (1992).
- 47) 井ノ内直良, 平島円, 澱粉, 「食品ハイドロコロイドの開発と応用」, 西成勝好監修 (シーエムシー出版, 東京), p. 159 (2007).
- 48) Keetels, C. J.A.M., Vliet, T. V., Walstra, P., Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 1. Gelation. *Food Hydrocolloids*, 10, 343-353 (1996).
- 49) 塩坪聰子, 芋類, 穀類, 豆類澱粉糊化の熱分析, 大阪女子学園短期大学紀要, 36, 7-12 (1992).

- 50) Chiu, C.W., & Chua, H., Replacement of Mung Bean Starch by Modified Potato and Sweet Potato Starch in Oriental Noodles. United States Patent, 4,871,572 (1989).
- 51) Swinkels J. J. M., Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch/Stärke*. 37, 1-5 (1985).
- 52) Leloup, V. M., Colonna, P., & Buleon, A., Influence of Amylose-Amylopectin Ratio on Gel Properties, *Journal of Cereal Science*, 13, 1-13 (1991).
- 53) 東川浩, 加工タピオカ澱粉「C☆CreamTex」(クリームテックス)の製麺への応用, *ジャパンフードサイエンス*, 39 (6), 53-56 (2000).
- 54) キャッサバ, 「食材図典」, 初版 (小学館, 東京), p. 315 (1995).
- 55) 高橋禮治, アジアのでん粉産業, 「でん粉製品の知識」, 初版一部改訂 (幸書房, 東京), p. 11 (2000).
- 56) Sakurai, T., Plata, G., Rodríguez-Zapata, F., Seki, M., Salcedo, A., Toyoda, A., Ishiwata, A., Tohme, J., Sakaki, Y., Shinozaki, K. and Ishitani, M., Sequencing analysis of 20,000 full-length cDNA clones from cassava reveals lineage specific expansions in gene families related to stress response, *BMC Plant Biology*, 7, 66 (2007).
- 57) でん粉統計資料【海外情報】、需給関係資料、世界のいも類の生産、キャッサバ、独立行政法人農畜産業振興機構 HP、[http://www.alic.go.jp/starch/world/data/kaigai1-\(2\)-c.pdf](http://www.alic.go.jp/starch/world/data/kaigai1-(2)-c.pdf) (2015. 1. 25.)
- 58) 前田昌宏, タイのタピオカでん粉事情～価格高騰の背景と今後のキャッサバ生産見通し～, *でん粉情報*, 37, 14-22 (2010).
- 59) 高橋禮治, でん粉の加工, 「でん粉製品の知識」, 初版一部改訂 (幸書房, 東京), pp. 92-124 (2000).
- 60) 小倉徳重, 酢酸澱粉, 「澱粉科学の事典」, 普及版, 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編 (朝倉書店, 東京), pp.396-397 (2010).
- 61) 三神彩子, 喜多記子, 佐藤久美, 長尾慶子, 加熱操作法ごとの中華鍋の省エネ性および CO₂ 排出量削減効果の評価, *日本調理科学会誌*, 43, 98-105 (2010).
- 62) 長尾慶子, 喜多記子, 松田麗子, 加藤和子, 十河桜子, 三神彩子, 家庭におけるエコ・クッキングの実践が CO₂ 削減に及ぼす効果, *日本家政学会誌*, 59, 903-910 (2008).
- 63) 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準, 中華めん, 「新食感事典」, 復刻版 (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 178-183 (2007).
- 64) 松永暁子, 「松永暁子論文集 (上巻) 澱粉質食品の老化に関する研究」, 松永昌三編 (岩波ブックサービスセンター, 東京), pp.191-194 (1997).
- 65) 中町敦子, 中村恵子, 四宮陽子, ゆで過程におけるスパゲッティの芯の状態変化とアルデンテの評価, *日本調理科学会誌*, 37, 151-158 (2004).
- 66) Shi, Y. C., & Seib, P. A., The Structure of Four Waxy Starches Related to Gelatinization and Retrogradation. *Carbohydrate Research*, 227, 131-145 (1992).

- 67) Yun, S. H. & Matheson, N. K., Estimation of Amylose Content of Starches after Precipitation of Amylopectin by Concanavalin-A, *Starch/Stärke*, 42, 302-305 (1990).
- 68) Torres, J.D., Tárrega, A., & Costell, E., Storage Stability of Starch-based Dairy Desserts Containing Long-chain Inulin: Rheology and Particle Size Distribution. *International Dairy Journal*, 20, 46-52 (2010).
- 69) 古川秀子, 評点法 (scoring method), 「おいしさを測る」, 初版 (幸書房, 東京), pp. 39-43 (1994).
- 70) ISO8587 (2006).
- 71) Kugimiya, M., Donovan, J. W., & Wong, R. Y., Phase Transitions of Amylose-Lipid Complexes in Starches: A Calorimetric Study. *Starch/Stärke*, 32, 265-270 (1980).
- 72) Biliaderis, C.G., Maurice, T.J., & Vose, J.R., Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 45, 1669-1674 (1980).
- 73) 三好恵真子, 吉村美紀, 多糖類混合系ゲル, *日本食品科学工学会誌*, 45, 73-82 (1998).
- 74) 山崎義樹, 粉体の構造制御による“おいしさ”の向上をめざして, *粉碎誌*, 53, 31-37 (2010).
- 75) Kulp, K., Characteristics of Small-Granule Starch of Flour and Wheat. *Cereal Chemistry*, 50, 666-679 (1973).
- 76) Stevens, D. J., & Elton G. A. H., Thermal Properties of the Starch / Water System Part I. Measurement of Heat of Gelatinisation by Differential Scanning Calorimetry. *Starch/Stärke*, 23, 8-11 (1971).
- 77) 堀内久弥, 西成勝好, 新倉正子, 袴田恵子, 野菜のテクスチャーと冷凍適性 (第2報) 貫入による冷凍人参のテクスチャー測定, *日本食品工業学会誌*, 23, 468-473 (1976).
- 78) 阿部芳子, 市川朝子, 下村道子, 中華麺の物性におよぼすかん水の影響, *日本家政学会誌*, 57, 461-467 (2006).
- 79) 阿部芳子, 上船津暢子, 市川朝子, 下村道子, 麺の食味と物性におよぼす卵の影響, *日本調理科学会誌*, 39, 289-295 (2006).
- 80) Kohyama, K., Sasaki, T., & Hayakawa, F., Characterization of Food Physical Properties by the Mastication Parameters Measured by Electromyography of the Jaw-Closing Muscles and Mandibular Kinematics in Young Adults. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 72, 1690-1695 (2008).
- 81) 高澤奈々世, 栗津原理恵, 大川祐輔, 原田和樹, 長尾慶子, ソバ蒸しパンの性状および抗酸化能に及ぼすルチン含量とグルテン添加量の影響, *日本調理科学会誌*, 44, 55-63 (2011).

- 82) Rajan, A., Prasad, V. S., & Abraham, T. E., Enzymatic esterification of starch using recovered coconut oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 39, 265-272 (2006).
- 83) Liu, C-K., Lee, S., Cheng, W-J., Wu, C-J., & Lee, I-F., Water Absorption in Dried Beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1001-1008 (2005).
- 84) Nissreen, A-G., & Brian, M., The Application of Peeler's Equation to Model Water Absorption During the Soaking of Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Engineering*, 32, 391-401 (1997).
- 85) Thakur, A. K., & Gupta, A. K., Water Absorption Characteristics of Paddy, Brown Rice and Husk During Soaking. *Journal of Food Engineering*, 75, 252-257 (2006).
- 86) Greer, E.N., & Stewart, B.A., The Water Absorption of Wheat Flour: Relative Effects of Protein and Starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10, 248-252 (1959).
- 87) Park, C.S., & Baik, B.-K., Flour Characteristics Related to Optimum Water Absorption of Noodle Dough for Making White Salted Noodles. *Cereal Chemistry*, 79, 867-873 (2002).
- 88) 横山公一, タピオカ加工澱粉による麺の新食感開発, 月刊フードケミカル, 18 (12), 33-36 (2002).
- 89) 神山かおる, 高齢化に対応した食品の咀嚼・テクスチャー研究, 農林水産技術研究ジャーナル, 32 (5), 39-43 (2009).
- 90) 新井映子, Video-fluorograph を応用した咀嚼中食物の動的解析, 「老化抑制と食品」, 初版, 独立行政法人食品総合研究所 (アイピーシー, 東京), p. 349 (2002).
- 91) 山田好秋, 咀嚼嚥下器官の解剖と生理, 「老化抑制と食品」, 初版, 独立行政法人食品総合研究所 (アイピーシー, 東京), p. 337 (2002).
- 92) 岩谷幸紘, お年寄りの味覚と嗜好, 「からだの不自由なお年寄りの食事—つくり方と介助—」, 第1版, 医歯薬出版編 (医歯薬出版, 東京), p. 18 (1994).
- 93) 住野広明, 塩澤光一, 森戸光彦, 成人被験者における唾液分泌量が咀嚼時の食塊物性変化に及ぼす影響, 老年歯科医学, 22, 288-297 (2007).
- 94) Kohyama, K., Hanyu, T., Hayakawa, F. and Sasaki, T., Electromyographic Measurement of Eating Behaviors for Buckwheat Noodles, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 74, 56-62 (2010).
- 95) 大山高裕, 阿久津智美, 伊藤和子, 渡邊恒夫, 山崎公位, 神山かおる, 皮を加工したたくあんの力学および咀嚼特性解析, 日本食品科学工学会誌, 57, 232-237 (2010).
- 96) 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, 60-68 (2008).

- 97) 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, 35-44 (2007).
- 98) 三木英三, 平田紀子, 難藤晴美, 山野善正, 茹めんのテクスチャー評価, 香川大学農学部学術報告, 47, 133-142 (1995).
- 99) 眞壁優美, 中山由佳, 谷井潤郎, うどんの性状に及ぼす塩類の影響, 日本調理科学会誌, 42, 110-116 (2009).
- 100) 岡田久美子, 市川朝子, 下村道子, 手打ちうどんの物性と食味に及ぼす澱粉・活性グルテン添加の影響, 日本調理科学会誌, 41, 327-336 (2008).
- 101) 竹原卓真, 2 要因の分散分析 (対応[なし]×[あり]), 「SPSS のススメ 1 2 要因の分散分析をすべてカバー」, 初版 (北大路書房, 京都), pp. 130-165 (2007).
- 102) 古谷野亘, 予測と説明—従属変数が量的データの時, 「数学が苦手な人のための多変量解析ガイド」, 初版 (川島書店, 東京), pp. 58-61 (1988).
- 103) 遠山良, 三浦靖, 種谷真一, 冷麺の食味特性におよぼすでんぷん原料の影響, 日本調理科学会誌, 30, 213-225 (1997).
- 104) Kohyama, K., Mioche, L. and Martin, J. F., Chewing patterns of various texture foods studied by electromyography in young and elderly populations, *J. Texture Stud.*, 33, 269-283 (2002).
- 105) 畑江敬子, 戸田貞子, 今井悦子, 松岡芳子, Paula Galcia DOBLES, 香西みどり, 高齢者と若年者における口腔内感覚の比較—ざらつき感覚と呈味効率, 日本食品科学工学会誌, 48, 491-497 (2001).
- 106) 柿木保明, 高齢者における口腔乾燥症, 九州歯科学会誌, 60, 43-50 (2006).
- 107) 神山かおる, 軟らかい食品は噛みやすい?, 食と農の扉, 1, 14-15 (2006).
- 108) 塩澤光一, 筋電図, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 253-255 (2010).
- 109) 安井明美, 食品中の水を分析する, 「光琳選書⑥食品と水」, 初版, 久保田昌治, 石谷孝佑, 佐野洋編著 (光琳, 東京), pp. 168-172 (2008).
- 110) 越野寿, 平井敏博, 摂食可能食品アンケートを用いた全部床義歯装着者の咀嚼能力検査, 日本咀嚼学会雑誌, 18, 72-74 (2008).
- 111) 窪田俊夫, 三島博信, 花田実, 南波勇, 小島義次, 脳血管障害における麻痺性嚥下障害—スクリーニングテストとその臨床応用について, 総合リハビリテーション, 10, 271-276 (1982).
- 112) Kohyama, K., Sawada, H., Nonaka, M., Kobori, C., Hayakawa, F. and Sasaki, T., Textural Evaluation of Rice Cake by Chewing and Swallowing Measurements on Human Subjects, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 71, 358-365 (2007).
- 113) 碓哲崇, 加齢に伴う生理機能の変化, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版 (サイエンスフォーラム, 千葉), pp. 113-114 (2010).
- 114) 舘村卓, 嚥下, 「食感創造ハンドブック」, 復刻版 (サイエンスフォーラム, 千葉), p. 70 (2010).

謝辞

本論文は、著者が兵庫県立大学大学院環境人間学研究科の博士課程において行った研究成果をまとめたものです。本研究は、多くの方々のご指導・ご協力なくしてはできませんでした。

本研究を遂行するにあたり、本学環境人間学研究科の吉村美紀教授には、研究の基礎から論文執筆に至るすべての過程において、終始温かく熱心にご指導を賜りました。具体的なアプローチ方法が分からず戸惑っては挫けるばかりの筆者に、方向性を示唆し、学内外での貴重な勉学・研究の場を与えてくださいました。心より深く感謝申し上げます。

研究成果のまとめ、論文執筆において、本学環境人間学研究科の北元憲利教授、加藤陽二教授には、数々の貴重なご指導・ご助言を賜りました。また、川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科の長野隆男教授には、専門的内容に関する貴重なご指導・ご助言を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

湖北工業大学の西成勝好特別招聘教授には、物性の測定と解析、論文執筆において、詳細にわたる貴重なご指導・ご助言を賜りました。また、高齢者食の研究を志し、進学する大学院を探していた過程では、面識もなかった著者に吉村美紀教授をご紹介くださり、そのおかげで研究に着手できました。深く感謝申し上げます。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究所食品総合研究所の神山かおる先生はじめ食品物性ユニットの皆様には、咀嚼筋筋電位の測定と解析において、基礎からご指導を賜りました。また、官能評価の解析や論文執筆においても、貴重なご助言を賜りました。厚く御礼申し上げます。

本学環境人間学研究科の深江亮平教授には、走査型電子顕微鏡観察において、ご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

本学工学研究科の鈴木道隆教授には、粒子径分布測定において、ご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

本学食品物性研究室の山崎理加さんには、物性測定の実験にご協力をいただきました。感謝申し上げます。

東亜食品工業株式会社には、乾麺の作成・提供をいただきました。大野光男取締役製造部長に大変お世話になりました。また、本研究の一部は、姫路市産学協同研究および兵庫県立大学 COC 事業の助成を受けて行われました。御礼申し上げます。

奈良女子大学生生活環境学部在学時に、故勝田啓子先生から、初めて食品物性学を学び、食品物性の研究に強い興味関心を抱きました。また、食品化学研究室（現・食品調理科学研究室）では、山口智子先生（現・新潟大学教育学部准教授）、高村仁知先生（現・奈良女子大学生生活環境学部准教授）、的場輝佳先生（現・奈良女子大学名誉教授）のご指導により、実験研究の醍醐味を学びました。これらは、大学院で研究を進めるうえでの大きな基盤となりました。深く感謝申し上げます。

最後に、本研究の遂行にあたり、多大なるご協力を賜りました被験者の皆様、本学食品物性研究室の皆様、山形県立米沢栄養大学の皆様、家族、友人、支えて下さったすべての皆様に、心より深く感謝しますとともに、厚く御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

業績目録

原著論文

1. 江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究, 日本調理科学会誌, 44, 417-426 (2011).
2. 江口智美, 吉村美紀, 神山かおる, タピオカ澱粉配合麺の力学特性と若年者および高齢者による咀嚼特性, 日本食品科学工学会誌, 59, 268-278 (2012).
3. Satomi Eguchi, Noritoshi Kitamoto, Katsuyoshi Nishinari & Miki Yoshimura, Effects of esterified tapioca starch on the physical and thermal properties of Japanese white salted noodles prepared partly by residual heat, Food Hydrocolloids, 35, 198-208 (2014).
4. 江口智美, 吉村美紀, うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉混合濃度の影響, 日本食品科学工学会誌, 61, 353-361 (2014).

関連論文

1. 小野寺允, 深江亮平, 江口智美, 西成勝好, 吉村美紀, 寒天と魚鱗由来コラーゲンペプチド混合ゲルから調製したゲルの物性, 日本食品科学工学会誌, 59, 22-33 (2012).
2. はりまうどん研究会, キャッサバ配合麺のテクスチャー評価に関する研究, 姫路市産学協同事業報告書 (2012).
3. 吉村美紀, 江口智美, 食物繊維と咀嚼, Functional Food, 23, 13-17 (2013).
4. 江口智美, 北元憲利, 鈴木道隆, 小河拓也, 吉村美紀, 白玉粉の粒子に及ぼす水挽条件の影響, 日本食品科学工学会誌, 60, 711-717 (2013).
5. 吉村美紀, 江口智美, 嗜好性の向上をめざした高齢者用食品の開発, ファインケミカル, 43, 21-28 (2014).
6. 江口智美, 池浦友美, 土居昌裕, 深江亮平, 吉村美紀, コラーゲンペプチドの分子量が米粉ケーキの食味と物性に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, 47, 1-9 (2014).
7. 吉村美紀, 江口智美, 東羅あかね, 中川究也, 豆乳・米粉・油脂混合エマルションのゲル化特性 (1): 酢酸による凝固の検討, 日本食品工学会誌, 15, 243-249 (2014).
8. 中川究也, 藤井祐太, 江口智美, 東羅あかね, 豆乳・米粉・油脂混合エマルションのゲル化特性 (2): 凍結環境下における凝固特性の検討, 日本食品工学会誌, 15, 251-258 (2014).

学会発表

1. ○江口智美, 大野光生, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による物性と食味への影響, ビジネスアリーナ 2010 in 兵庫, 兵庫県立武道館 (2010).
2. ○江口智美, 大野光生, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による物性と食味への影響, 第3回兵庫県立大学シンポジウム-実りある産学官連携の推進, イーグレ姫路 (2010).
3. ○江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による食感とエネルギー消費量に及ぼす影響, 日本家政学会関西支部第32回研究発表会, 兵庫県立大学姫路新在家キャンパス (2010).
4. ○江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による食感とエネルギー消費量に及ぼす影響, 第7回環境人間学フォーラム, 兵庫県立大学姫路新在家キャンパス (2010).
5. ○江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による食感とエネルギー消費量に及ぼす影響, 地域連携卒業研究成果発表プログラム, 兵庫県立大学姫路書写キャンパス (2011).
6. ○江口智美, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵の高齢者による咀嚼性, 第34回日本バイオレオロジー学会年会, 関西大学 (2011).
7. ○江口智美, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麵の力学特性と咀嚼特性, 第59回レオロジー討論会, 桐生市市民文化会館 (2011).
8. ○江口智美, 吉村美紀, タピオカ澱粉配合麵の調製時におけるむらし操作導入の効果, 日本家政学会第64回大会, 大阪市立大学 (2012).
9. ○江口智美, 吉村美紀, 神山かおる, タピオカ澱粉配合麵の力学特性と若年者と高齢者による咀嚼特性の比較, 第35回日本バイオレオロジー学会年会, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (2012).
10. 江口智美, ○吉村美紀, タピオカ澱粉配合麵の調製時におけるむらし操作導入の効果, 一日・はりま産学交流会 in 書写キャンパス, 兵庫県立大学姫路書写キャンパス (2012).
11. ○江口智美, 北元憲利, 吉村美紀, うどんの力学特性と食べやすさに及ぼすタピオカ澱粉混合の影響, 日本家政学会関西支部第34回研究発表会, 奈良女子大学 (2012).
12. ○江口智美, 吉村美紀, うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉混合の影響, 日本食品工学会第14回(2013年度)年次大会, 京都テルサ (2013).

関連学会発表

1. 池浦友美, ○江口智美, 深江亮平, 吉村美紀, コラーゲンペプチドの保水特性, 第 35 回日本バイオレオロジー学会年会, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (2012).
2. ○江口智美, 北元憲利, 鈴木道隆, 吉村美紀, 白玉粉の粒子に及ぼす水挽き条件の影響, 日本調理科学会東海・北陸支部, 近畿支部合同研究発表会, 園田学園女子大学 (2012).
3. ○江口智美, 山本美晴, 吉村美紀, うどん麺のテクスチャーに及ぼす投入温度とタピオカ澱粉配合の影響, 第 36 回日本バイオレオロジー学会年会, 九州大学西新プラザ (2013).
4. ○吉村美紀, 江口智美, 東羅あかね, 中川究也, 豆乳・米粉混合ゲルの酸凝固, 第 36 回日本バイオレオロジー学会年会, 九州大学西新プラザ (2013).
5. ○江口智美, 池浦友美, 深江亮平, 吉村美紀, コラーゲンペプチドが米粉ケーキの食味と物性に及ぼす影響, 日本調理科学会平成 25 年度大会, 奈良女子大学 (2013).

学 位 論 文 の 要 旨

論文題目

エステル化タピオカ澱粉混合麵の物性、咀嚼性および嗜好性に関する研究

未公表（印刷製本しH27年3月に公表の予定）

HD12E002 江口智美

序論

食品には、栄養機能、おいしさや嗜好性などの感覚機能、健康維持などの生体調節機能の三大機能がある。おいしいものを食べることにより、食欲を増進し心豊かな食生活を送ることができるため、おいしさは欠かせないものである。おいしさの決定要因には、色、味、香り、食感（テクスチャー）などがあるが、特に固形状食品では物理的性質に左右される食感がおいしさの大きな決定要因となる。

食感改良や調理性改善に、食品ハイドロコロイドが広く使用されている。食品ハイドロコロイドは、ゲル化性、保水性、分散性、増粘性、安定性などの優れた機能特性を持ち、植物起源の澱粉、海藻抽出物の寒天、微生物が発酵法によって作り出すキサンタンガム、動物性蛋白質のゼラチンなどがある。用途に合わせて異なる特性を持つものが使用されている。

超高齢社会を迎え、高齢者人口の増加とともに咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が増加傾向にある。口から食事を摂ることは健康やQOL（生活の質）の維持・向上の観点から重要である。誤嚥を防ぐ安全なテクスチャーであり、しかも食品の三大機能を満たす咀嚼・嚥下困難者用の食品や咀嚼機能維持に役立つ食品の開発が喫緊の課題となっている。また、地球温暖化やエネルギー問題などの一つの解決策として、エコクッキングの普及が進められており、食品自体の調理性改善を図ることが求められている。これらを背景に、新しい食品ハイドロコロイドの探索や、個々の特性を持つ食品ハイドロコロイドの混合による新しい食品ハイドロコロイドの開発が進められているが、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係については未解明な部分も多い。

食品ハイドロコロイドの中で、澱粉は、安価で、加工性や貯蔵性に優れ、摂取することによりそれ自体がエネルギー源となる欠かせない素材として広く用いられている。原料起源の異なる澱粉は、澱粉粒の粒子径や粒形態、構成成分などが異なり、それぞれに特有の性質を示す。澱粉質食品は、主に、水とともに加熱糊化して毎日大量に食されているが、物性に左右される食感がおいしさの大きな決定要因となる。澱粉の粒子径や粒形態、構成成分、澱粉質食品の構造などから、論理的に澱粉の水和を制御し、少しでも系統的に物性制御の機構を解明することができれば、食感制御が容易になることが期待できる。また、澱粉質食品の物性と、摂食者の咀嚼特性や嗜好性の関係が解明されれば、摂食者の年代や咀嚼・嚥下機能の程度、嗜好性に応じた多様な食感制御が容易になり、人々の健康やQOLの維持・増進の一助となることが期待できる。

一般においしいうどんの条件は、「つるつる」「こし」といった食感用語で表現され、その食感には、澱粉の性質が大きく関わる。また、調理時間の短い細いものが好まれる傾向がみられる。これらの観点から、小麦以外の各種澱粉を混合し、食感改良や早ゆで化が図られており、酢酸エステル化タピオカ澱粉を混合した乾麵のうどんが広く製造されている。タピオカ澱粉は、糊化温度が低く、吸水性が高く、低アミロースである。また、エステル化澱粉は、最も一般的な加工澱粉であるが、エステル化澱粉の中でも酢酸澱粉が最も広く用いられている。酢酸澱粉は、アセチル基の付加により、澱粉粒子の結晶構造が弱くなり、澱粉分子の再配列においてアセチル基が立体障害になるため、天然澱粉よりも糊化温度が低い。したがって、酢酸エステル化タピオカ澱粉は、糊化温度が低く、吸水性が高く、低アミロースであるため、この澱粉を混合したうどんは、なめらかでやわらかなこしや弾力のあるもちもちとした食感を示し、早ゆで化が期待できるが、ゆでのびしやすさがこれまでに分かっている。

本研究では、酢酸エステル化タピオカ澱粉（以下、エステル化タピオカ澱粉）を混合したうどんを用いて、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係について評価を行った。

第1章

余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉混合の影響

1.1. 緒言

資源の有効活用および地球温暖化防止の観点から、省エネルギー対策が重要課題とされている。うどんをはじめ、麺のゆで操作中における余熱利用が注目されているが、効果を検討した研究はこれまでに見当たらない。本章では、これまでゆでのびの原因とされてきたタピオカ澱粉の吸水膨潤力の大きさと、エステル化澱粉の糊化温度の低さ、やわらかな弾力が、省エネルギー対策としての余熱利用調理に有効ではないかと考えた。また、余熱利用調理には、細い形状の麺が伝熱において適すると考えた。そこで、細い形状の小麦粉乾麺およびエステル化タピオカ澱粉混合乾麺の調製時に、ゆで時間を短縮して、消火後の余熱を利用したむらし調理を導入し、麺の物性、糊化特性、嗜好性に与える効果を検討した。

1.2. 実験方法

東亜食品工業(株)製の市販の小麦粉乾麺（以下WFd）とエステル化タピオカ澱粉混合乾麺（エステル化は酢酸澱粉，以下ETSd）を用いた。WFdは、中力小麦粉100%、ETSdは、中力小麦粉94%とエステル化タピオカ澱粉6%の混合であった。WFdおよびETSdをそれぞれ10分間ゆでたWF10+0（Control）、ETS10+0（Control 2）、WFdおよびETSdをそれぞれ3分間ゆでてから消火し、消火後は蓋をして3、6、8、10分間放置してむらしたWF3+3、ETS3+3、WF3+6、ETS3+6、WF3+8、ETS3+8、WF3+10、ETS3+10の10種類の加熱試料を調製した。

測定は、形状および一般成分、加熱試料調製中の水温変化および消費電力量、糊化特性（DSC）、貫入特性、原材料のアミロース/アミロペクチン含量、原材料の粒子径分布、原材料および乾麺の構造観察（SEM）、官能評価を行った。

1.3. 実験結果および考察

むらし操作を導入すると、調理に伴う消費電力量を32%削減できた。小麦粉麺、エステル化タピオカ澱粉6%混合麺のいずれにおいても、こしの分布はゆで操作のみの場合と異なったが、ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入した麺（WF3+6およびETS3+6）において、ゆでのみ10分間の麺（WF10+0およびETS10+0）と同程度の硬さが得られた。

むらし操作の導入による水温の低下は糊化の進行を妨げなかったが、小麦粉麺とエステル化タピオカ澱粉6%混合麺の糊化の進行は異なった。エステル化タピオカ澱粉6%混合麺では、起源植物種に特有な吸水性・糊化特性に加え、小麦粉麺よりも原材料のアミロース含量が少なく、澱粉粒子間の隙間が広い疎な乾麺構造を示したため、次第に糊化が進行してやわらかくなり、加熱時間によるやわらかさの調節ができた。

むらし操作を導入した場合でも、ゆで操作のみと同等の嗜好性が得られた。ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入したエステル化タピオカ澱粉6%混合麺（ETS3+6）が、ゆでのみ10分間の麺（WF10+0、ETS10+0）と硬さは変わらないが、強いこしが得られ、嗜好的に最も好まれる傾向にあった。

うどんにエステル化タピオカ澱粉を6%混合することは、余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。

第2章 エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼすゆで時間の影響

2.1. 緒言

超高齢社会を迎え咀嚼・嚥下能力が低下した高齢者向け食品への要求が高まっている。食べやすさとともに、さらなる咀嚼・嚥下能力の低下を招かない工夫が要求されている。第1章では、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、加熱調理時間によりやわらかさの調節がしやすいことを確認した。うどんの嗜好性は高齢者において高いとされており、エステル化タピオカ澱粉混合麺のなめらかでやわらかな弾力に富んだテクスチャーと、やわらかさの調節がしやすい特性は、高齢者向け食品に要求される特性に適していると予想された。これまでに、材料混合が異なるうどんの咀嚼性について比較検討された例はほとんど見当たらない。そこで、本研究では、エステル化タピオカ澱粉を混合したうどんの、高齢者向け食品としての適性の検討を目的とし

て、物性、若年者と高齢者の咀嚼性及び嗜好性の比較による評価を行った。

2.2. 実験方法

試料は、小麦粉麺（中力小麦粉100%，東亜食品工業(株)製）を10分間ゆでたWF10，エステル化タピオカ澱粉6%混合麺（中力小麦粉94%と酢酸エステル化タピオカ澱粉6%，東亜食品工業(株)製）を10分間ゆでたETS10，13分間ゆでたETS13を用いた。

測定は、形状および一般成分，貫入特性，高齢者10名（75.8±7.3歳）と若年者12名（23.3±2.7歳）を対象とした左右咬筋（閉口筋）の咀嚼筋筋電位測定及び官能評価（五段階評点法，「こし」，「なめらかさ」，「食べやすさ」，「飲み込みやすさ」，「総合的な好ましさ」）を行った。実験計画は，兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

2.3. 実験結果および考察

麺にエステル化タピオカ澱粉を混合することで，なめらかでやわらかな弾力が広く分布するもちもちとしたテクスチャーが付与された。若年者と高齢者の両世代において，食べやすさと嗜好性が高まる傾向にあった。

エステル化タピオカ澱粉混合麺のゆで時間を長くすることで，水分含量が増加した。麺線全体的にやわらかく，こしも弱くなり，早い段階で噛み切りやすい食べやすさのさらに向上した麺となった。

高齢者と若年者では，咀嚼特性と嗜好性に違いが見られ，高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っていた。また，高齢者では，ETS13が最も食べやすく好ましいと評価された。若年者では，高齢者と同様に，ETS13が最も食べやすいと評価されたが，最も好まれたのは，硬さやこしによる噛みごたえのあるETS10であった。うどんのおいしさの評価において重要な要素は，高齢者においては，水分含量の高さによる食べやすさであり，若年者においては，硬さやこしによる噛みごたえであることが示唆された。

高齢者に最も食べやすいと評価されたETS13についても，筋電位振幅および貫入力変化率からある程度の噛みごたえが維持されたことが示唆された。したがって，うどんにおいては，ETS13は，食べやすかつ無理なく高齢者の咀嚼機能維持にも役立てられる，高齢者向け食品としての適性があることが示唆された。

第3章 うどんの物性，咀嚼性，嗜好性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉濃度の影響

3.1. 緒言

第2章では，小麦粉100%のうどんとエステル化タピオカ澱粉が6%混合されたうどんのゆで時間を変えて，物性，嗜好性，咀嚼特性の面から，高齢者向け食品としての適性を検討した。この結果では，エステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を13分間ゆでたうどんは，小麦粉100%乾麺およびエステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を10分間ゆでたうどんと比較して，水分が多くてやわらかく，高齢者において食べやすさと嗜好性が高まったと同時に，咀嚼筋筋電位振幅は維持されたことから，咀嚼機能維持にも役立てられる可能性が示唆された。

本章では，第2章の結果に基づいて，ゆで時間を13分間に設定し，エステル化タピオカ澱粉の混合濃度が，うどんの物性と，若年者および高齢者における嗜好性，咀嚼特性に及ぼす影響を検討した。特に，本研究では，これまでに十分明らかでない，うどんのなめらかさと咀嚼特性の関係を，世代間で比較しながら明らかにしたいと考えた。なめらかなうどんは，口腔内に付着しにくいと予想され，付着性には，開口筋群の筋電位計測で得られる咀嚼特性値が関与することが報告されている。第2章では，閉口筋から咀嚼特性を評価したため，なめらかさと咀嚼特性の関係の評価が十分でなかった。そこで，本章では，咀嚼特性の評価を，閉口筋と開口筋群から行った。

3.2. 実験方法

試料は，中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉（酢酸エステル化タピオカ澱粉）を0%，6%，10%，15%混合した乾麺（東亜食品工業製，2×3×210mm）を13分間ゆでたうどんとした。

形状および一般成分，貫入測定，原材料の粒子径分布測定，乾麺の構造観察（SEM），高齢

者14名（男性2名，女性12名，77.1±7.5歳）および若年者12名（男性2名，女性10名，22.5±3.0歳）を対象とした，平井らの方法による25品目の摂食可能食品アンケート，窪田らの方法による水飲みテスト，官能評価（五段階評点法，「硬さ」，「こし」，「なめらかさ」，「食べやすさ」，「総合的な好ましさ」），左右咬筋（閉口筋）および舌骨上筋群（開口筋）の咀嚼筋筋電位測定を行った。実験計画は，兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

3.3. 実験結果および考察

エステル化タピオカ澱粉を混合すると，0%よりも有意に水分が多く，やわらかいうどんになった。この中で，10%が，最も澱粉粒子間の隙間が広く，澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすい乾麺構造をもち，高齢者・若年者の両世代において，0%よりも有意にやわらかく食べやすいと識別され，なめらかさが好まれた。しかし，咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。

高齢者と若年者の嗜好性・咀嚼特性を比較すると，高齢者は，若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合，咀嚼力が低下するため，同じ硬さであっても，その硬さを有意に好まなかった。また，高齢者では，嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を，咬筋を強く動かすことで補い，最終嚥下を行っていることが示唆された。

第4章 総括

本研究では，澱粉質食品の，余熱利用調理における調理性改善および高齢者向け食品としての食感制御を目的として，中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉を混合したうどんを用いて，物性制御の機構や，物性と咀嚼特性および嗜好性の関係についての評価を行った。

物性について，第1章および第3章より，うどんにエステル化タピオカ澱粉を混合すると，中力小麦粉とエステル化タピオカ澱粉の粒子径分布や粒形態が異なったため，混合濃度により，乾麺構造における澱粉粒子間の隙間の広さに違いが見られ，澱粉粒の膨潤・糊化に影響し，麺の物性に影響することが分かった。第3章より，10%の混合が，最も澱粉粒子間の隙間が広く，ゆでた場合に澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすく，やわらかいうどんになることが分かった。物性制御においては，原料起源に特有な澱粉の特性や，アミロース/アミロペクチンなどの構成成分の影響だけでなく，澱粉の粒子径や麺の構造といった幾何学的特性を考慮することが重要であることが示唆された。また，第1章の余熱利用調理を導入した場合の若年者による「総合的な好ましさ」の官能評価では，10%が最も好まれない結果を得たが，第3章のゆで調理で示されたように，余熱利用調理を導入した場合においても，10%では，澱粉粒の膨潤・糊化が最も進行しやすく，やわらかくなり，そのやわらかさが若年者には好まれなかったためと推察される。

第1章における余熱利用調理の検討には，エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を用いた。エステル化タピオカ澱粉を6%混合すると，余熱利用調理を導入した場合においても，糊化が進行し続け，加熱時間の延長によるやわらかさの調節ができた。また，ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入したエステル化タピオカ澱粉6%混合麺（ETS3+6）は，ゆでのみ10分間の麺（WF10+0，ETS10+0）と硬さは変わらないが，強いこしが得られ，若年者において嗜好的に最も好まれる傾向にあった。したがって，エステル化タピオカ澱粉6%の混合は，麺の余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。余熱利用調理の調理性が改善され，余熱利用調理が普及することは，省エネルギー対策に有効であるだけでなく，給食などの大量調理において，調理員の作業中の暑さの負担を減らすという点でも有効であると考えられる。また，家庭での調理においては，余熱利用調理中は熱源のスペースが空くため，空いた熱源を利用して，副菜の調理が追加でき，食事全体の栄養バランスを整えることにも役立てられると考えられる。研究成果を普及させるためには継続的な情報発信が重要であり，今後の課題としたい。

物性と咀嚼特性および嗜好性の関係について，第2章および第3章で検討した。エステル化タピオカ澱粉混合麺は，なめらかで粘着性が少ない食感を示し，第1章の結果より，加熱時間によるやわらかさの調節がしやすいことが分かった。したがって，第2章では，エステル化タピオカ澱粉を6%混合したうどんを通常の10分間より長く13分間ゆで，高齢者向け食品としての適性を検討した。第1章では，余熱利用調理を導入したが，第2章では，省エネルギー対策の検討は目的としなかったため，通常家庭で普及しているゆで調理によりうどんの調製を行い，物性を調節した。今後は，省エネルギー対策をしながら，高齢者向け食品について検討するこ

とも必要であろう。高齢者向け食品には、摂食者の咀嚼機能の程度に応じた食べやすさや、咀嚼機能の維持ができる物性が要求される。エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を13分間ゆでたうどん(ETS13)は、水分量が増加し、高齢者において食べやすかつ無理なく咀嚼機能維持に役立てられる物性を示し、嗜好的に好まれることが分かった。食べやすいことと、咀嚼機能維持に役立つことは、相反する特性とも考えられるが、両方の特性を満たす物性の範囲が存在する可能性が示唆された。今後、様々な物性の食品を用いてデータを蓄積し、このような物性の範囲について十分な知見を得ることが必要である。第3章では、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度を0%~15%に変えて、高齢者向け食品としての適性を検討した。10%が、若年者・高齢者の両世代において、0%よりも有意にやわらかくて食べやすいと識別されたが、咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。感知される感覚の違いは、必ずしも咀嚼筋の筋活動に影響しないことが示唆された。また、これまで、水分の多い食品ほど噛みやすいとされてきた。第2章でもそのような結果が示されたが、第3章では、うどんの食べやすさには、うどん全体の水分量だけでなく、水分勾配による硬さの不均一性や表面の水分量およびなめらかさが影響した可能性が推察された。澱粉質食品はエネルギー源となるため、食が細り低栄養に陥りやすい高齢者にとって、その摂取は健康維持に重要なものである。食べやすくするために水分量を増やして物性を調節することは、多少なりとも相対的に澱粉の摂取量を減らすことになるため、場合によっては低栄養を招く原因となりうる。水分量を変化させなくても、水分勾配により食べやすさが調節できれば、栄養摂取において好都合である。今後は、水分分布と咀嚼特性の関係について明らかにしていきたい。

また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性に違いが見られた。第2章では、高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っており、食べやすい麺をおいしいと評価したのに対し、若年者は硬さやこしによる噛みごたえのある麺をおいしいと評価した。第3章では、高齢者は、若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合、咀嚼力が低下するため、同じ硬さであっても、その硬さを有意に好まなかった。また、高齢者では、嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を、咬筋を強く動かすことで補い、最終嚥下を行っていることが示唆された。高齢者と若年者の咀嚼特性および嗜好性は異なることを理解して、高齢者向け食品の物性を制御していくことが重要である。

以上より、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、余熱利用調理の調理性改善に有効であり、高齢者向け食品としての適性があった。エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性制御には、原料起源に特有な澱粉の特性や、アミロース/アミロペクチンなどの構成成分だけでなく、澱粉の粒子径分布や麺の構造といった幾何学的特性の考慮が重要であった。また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性が異なった。

引用文献 (3編以内)

1. 吉村美紀, 食品混合ゲル, 日本調理科学会誌, 34, 424-431 (2001).

参考論文 (5編以内)

1. 江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究, 日本調理科学会誌, 44, 417-426 (2011).
2. 江口智美, 吉村美紀, 神山かおる, タピオカ澱粉配合麺の力学特性と若年者および高齢者による咀嚼特性, 日本食品科学工学会誌, 59, 268-278 (2012).
3. Satomi Eguchi, Noritoshi Kitamito, Katsuyoshi Nishinari & Miki Yoshimura, Effects of esterified tapioca starch on the physical and thermal properties of Japanese white salted noodles prepared partly by residual heat, Food Hydrocolloids, 35, 198-208 (2014) .
4. 江口智美, 吉村美紀, うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉混合濃度の影響, 日本食品科学工学会誌, 61, 353-361 (2014).

博士論文 公聴会

エステル化タピオカ澱粉混合麵の物性、咀嚼性および嗜好性に関する研究

2015. 1. 28. 16:30 ~

兵庫県立大学大学院 環境人間学研究科
えぐち さとみ
HD12E002 江口智美



背景 おいしさの要因

- ◆ 食品の三大機能
 - 一次機能 栄養
 - 二次機能 **おいしさ**
 - 三次機能 生体調節
- ◆ おいしさの決定要因
 - ・ 化学的要因
 - 色 味 香
 - ・ 物理的要因
 - 食感 (テクスチャー)
 - 固形状食品

・ 食欲増進
・ 心豊かな食生活

など

背景 食品ハイドロコロイド

- ◆ 食感改良、調理性改善
- ◆ 澱粉・多糖類・タンパク質 など



ゲル化性

安定性

優れた機能特性

保水性

増粘性

分散性

それぞれが異なる特徴

↓

用途に合わせて使用

背景 食品ハイドロコロイドの開発

- ◆ ニーズの高まり

多様なテクスチャー

- おいしさ
- バランスのとれた食事
- 調理・加工性改善

- ◆ 高齢者食 健康やQOLの維持・向上
- ◆ エコクッキング

↓

新しい食品ハイドロコロイド 探索 による開発 混合

物性制御の機構? 咀嚼・嗜好性との関係?

背景 澱粉と澱粉質食品

澱粉 + 水、熱

- 汎用
- 安価
- 加工性
- 貯蔵性
- エネルギー源 (低栄養予防)

穀類 芋類 豆類

分子構造 分子量の不揃いな生体高分子

物性制御 困難

糊化 (澱粉質食品)

- ◆ 主食
- ◆ 粘弾性・ゲル化性

↑

- ◆ 起源植物に特有
- ◆ 澱粉粒の構成成分
- 粒子径、粒形態
- ◆ 澱粉質食品の構造

物性制御

研究目的

澱粉質食品(澱粉混合系食品)

うどん

中力小麦粉 + エステル化タピオカ澱粉

物性制御の機構?

物性と咀嚼性・嗜好性の関係?

↓

年代、咀嚼・嚥下機能の程度、嗜好性に応じた多様で容易な食感制御を期待

背景 エステル化タピオカ澱粉混合麺

◆ うどんのおいしさ → 食感改良・調理性改善

つるつる
こし

澱粉の性質

【近年】
調理時間の短い細い麺

エステル化タピオカ澱粉

- ・なめらか 粘着性 少
- ・やわらかなこし、弾力
- ・早ゆで化
- ・ゆでのび (欠点)

背景 タピオカ澱粉

◆ 原料: キャッサバ

- ・悪環境下での栽培が可能
- ・澱粉の高い生成能
- ・単位面積あたりの収穫量が多い

食糧問題解決の糸口と期待

◆ 小麦澱粉と比較

- ・アミロペクチン 多 (小麦 72% < タピオカ 83%)
- ・吸水膨潤力 大

◆ うどん

- ・なめらか
- ・やわらかなこし、弾力
- ・ゆでのび (欠点)

背景 エステル化澱粉

◆ 加工澱粉

フリーな水酸基に官能基を導入
立体障害
澱粉製品の糊化・老化条件の改善

DS(置換度 ≤ 3)
0.01 ~ 0.1

◆ エステル化澱粉

- ▶ 最も一般的な加工澱粉
- ▶ 酢酸澱粉

糊化温度低下 → 早ゆで化
老化抑制

澱粉 + 無水酢酸 $\xrightarrow{\text{NaOH}}$ 酢酸澱粉

本研究の構成

【第1章】余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉混合の影響

- ◆ 調理性改善: エコクッキング
- ◆ 成分、粒子径、構造 ⇒ 糊化度 ⇒ 物性、嗜好性(若)

【第2章】エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性、咀嚼性、嗜好性におよぼすゆで時間の影響

- ◆ 高齢者向け食品
- ◆ 第1章より物性調節(時間) ⇒ 咀嚼性、嗜好性(若&高)

【第3章】うどんの物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉濃度の影響

- ◆ 高齢者向け食品
- ◆ 第1, 2章より ⇒ 濃度 ⇒ 構造 ⇒ 咀嚼性、嗜好性(若&高)

第1章

余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉混合の影響

背景 エコクッキング

- ◆ 省エネルギー対策
 - ・資源の有効活用
 - ・地球温暖化防止
- ◆ 環境に配慮した調理 = エコクッキング

熱源で最大 → マスメディア等 余熱で麺をゆでるエコ技の紹介 → 効果?

- ◆ エステル化タピオカ澱粉混合麺の欠点
 - 吸水膨潤力 大 → ゆでのび → 余熱利用に効果的?

研究目的

エステル化タピオカ澱粉の混合はうどんの余熱利用調理に効果的か？

物性？ 糊化特性？ 嗜好性？

方法 原材料と乾麺

	WFd 小麦粉乾麺	ETSd エステル化タピオカ澱粉混合乾麺
原材料配合	100%	6% 94% 《5%以上》 滑らかさ 弾力が付与
形状	2.9mm 210mm 2.0mm	3.0mm 210mm 1.6mm

■ 中力小麦粉「ゴールドマーガレット」近畿製粉㈱
■ エステル化タピオカ澱粉「松谷さくら」松谷化学工業㈱

東亜食品工業㈱製の市販製品

方法 加熱試料

WFd, ETSd 40g×4

25℃ 2L → 強火 12min → 100℃ ゆて → 強火 3min → 消火 3min → むらし → 冷却後 水切り → 加熱試料

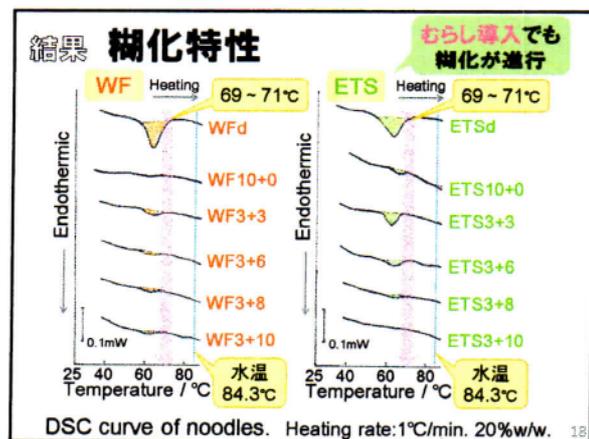
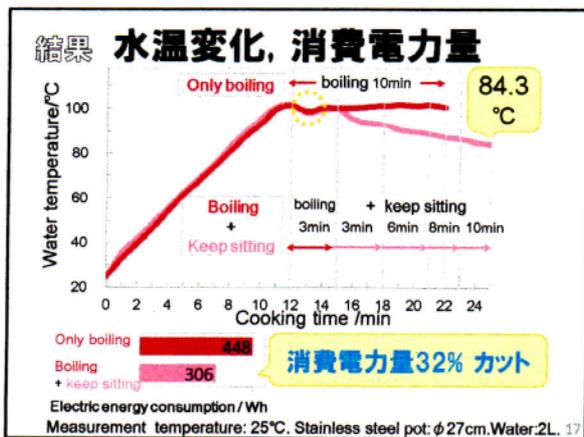
電磁調理器 TOSHIBA製 MR-T1,100V
イオン交換水

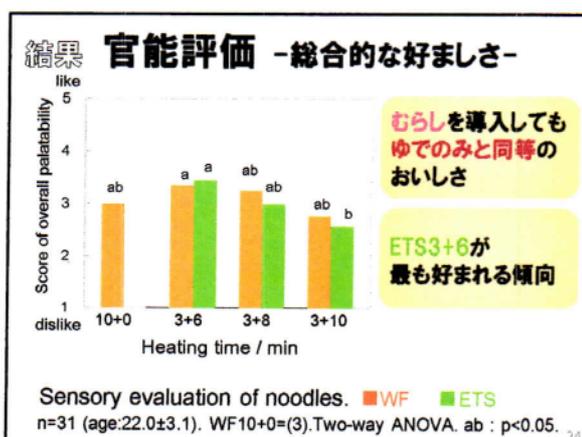
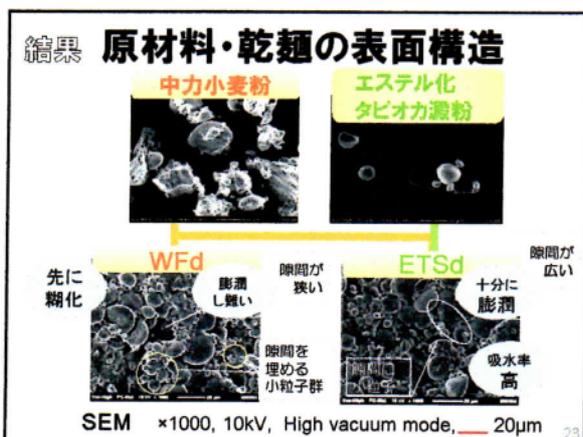
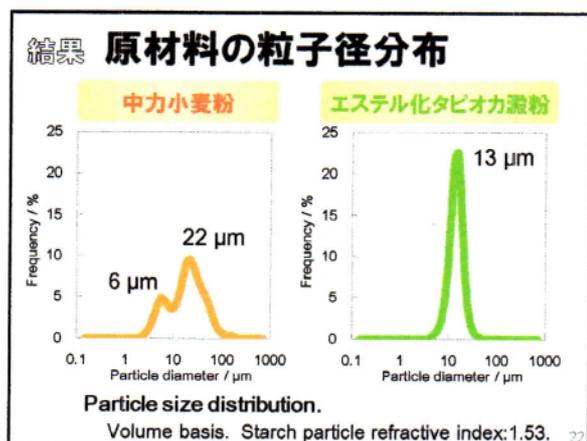
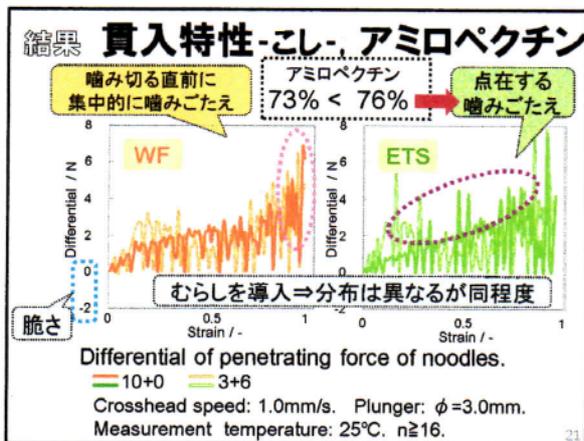
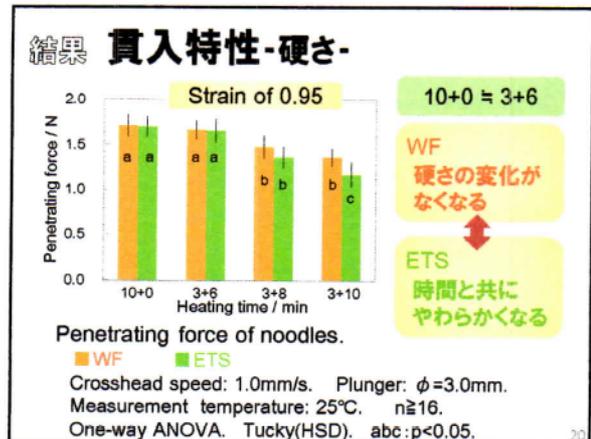
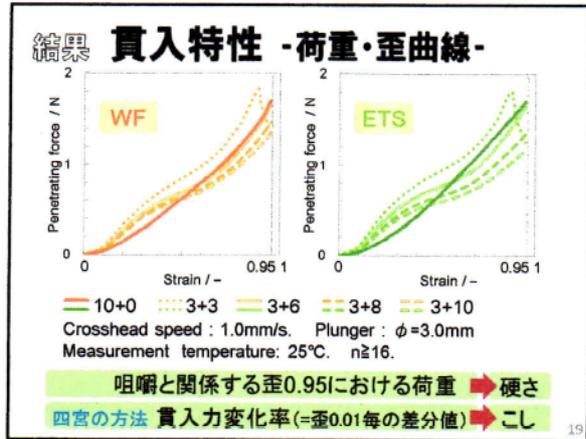
強火	消火	WF	ETS
10min	3min	WF10+0	ETS10+0
3min	3min	WF3+3	ETS3+3
6min	3min	WF3+6	ETS3+6
8min	3min	WF3+8	ETS3+8
10min	3min	WF3+10	ETS3+10

Control Control 2

方法 測定項目

水温変化 HI9063 ハンナインスツルメンツジャパン	消費電力量 3168 日置電機	糊化特性 DSC-6100 セイコーインスツルメンツ
貫入特性 RE-3305 山電	アミロース/アミロペクチン含量 アミロース/アミロペクチン測定キット Megazyme	
粒子径分布 Microtrac FRA LEEDS & NORTHRUP	SEM観察 JCM-5000 日本電子	官能評価 5段階評点法 若年者





**「むらし操作導入」「エステル化タピオカ澱粉6%混合」
麺の物性、糊化特性、嗜好性への効果？**

むらし操作導入の効果	エステル化タピオカ澱粉6%混合の効果
<ul style="list-style-type: none"> 消費電力量: 32%削減 水温の低下⇒糊化妨げず ゆでのみとこしの分布は異なったが同等の嗜好性 	<ul style="list-style-type: none"> ・アミロペクチン 多 ・疎な乾麺構造 ↓ ・糊化が十分に進行し次第にやわらかく ・ETS3+6の嗜好性高い傾向

まとめ **エステル化タピオカ澱粉6%混合はうどんの余熱利用調理の調理性改善に有効**

第2章

エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼすゆで時間の影響



背景 高齢者向け食品

◆ ニーズの高まり
急速な少子高齢化

高齢者
うどんの嗜好性 高

咀嚼
嚥下

栄養、おいしさ+

エステル化タピオカ澱粉混合麺
特性と一致？

エステル化タピオカ澱粉混合麺

<ul style="list-style-type: none"> ・噛みやすさ ・飲み込みやすさ ・咀嚼・嚥下機能維持 	<ul style="list-style-type: none"> ・やわらかさ ・なめらかさ ・弾力
--	---

研究目的

**エステル化タピオカ澱粉混合麺
高齢者向け食品に適性？
(ゆで時間を変えて)**

高年齢者の
物性 ? **咀嚼性** ? **嗜好性** ?
(若年者と比較)

方法 ゆで試料の調製

(第1章より) 加熱時間によるやわらかさの調整

WF → 10 min → WF10

ETS → 10 min → ETS10

ETS → 13 min → ETS13

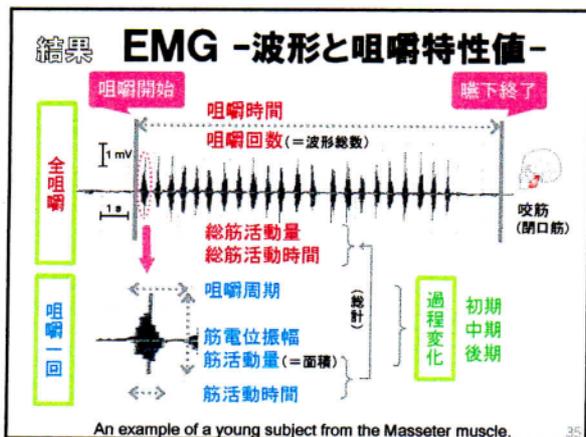
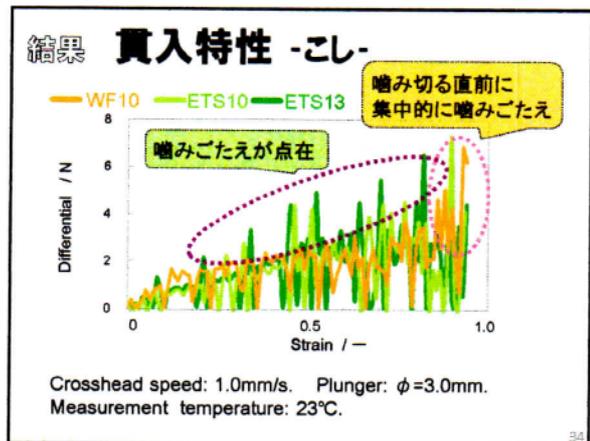
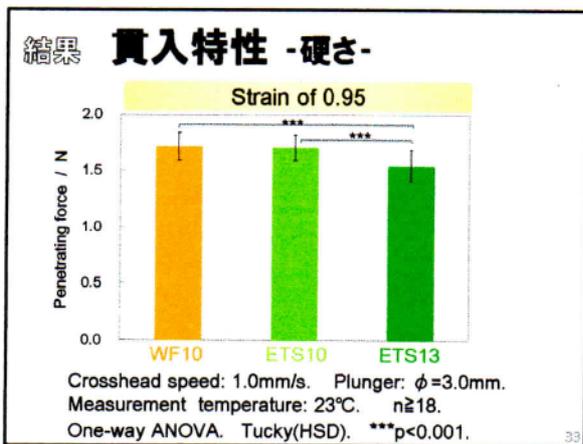
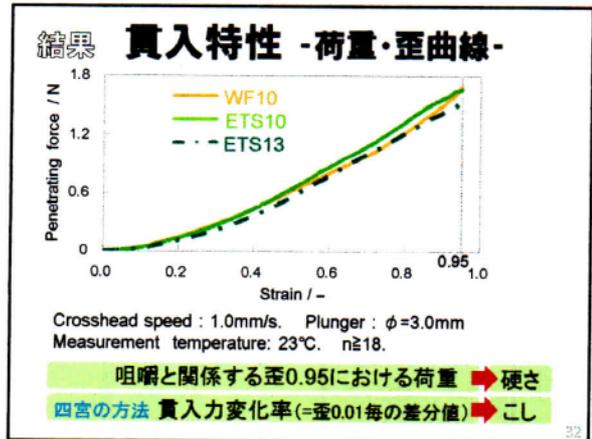
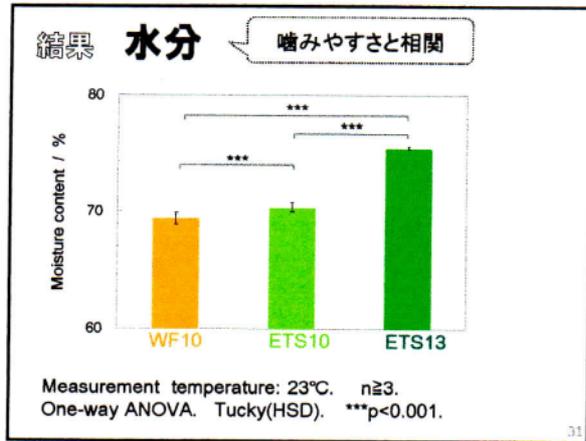
ゆで ⇒ 冷却 ⇒ 水切り ⇒ 試料(調製直後のもの)

電磁調理器 TOSHIBA製 MR-T1,100V

方法 測定項目

水分 FD-600 ケツト科学研究所	貫入特性 - 硬さ, こし - RE-3305 山電
官能評価 分析型 嗜好型 五段階評点法	咀嚼筋筋電位 (EMG) - 咬筋(閉口筋) - Personal-EMG 道坂電子機器 兵庫県立大学研究倫理委員会の承認

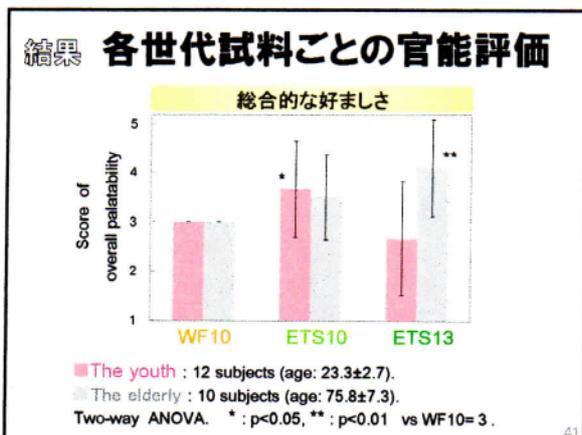
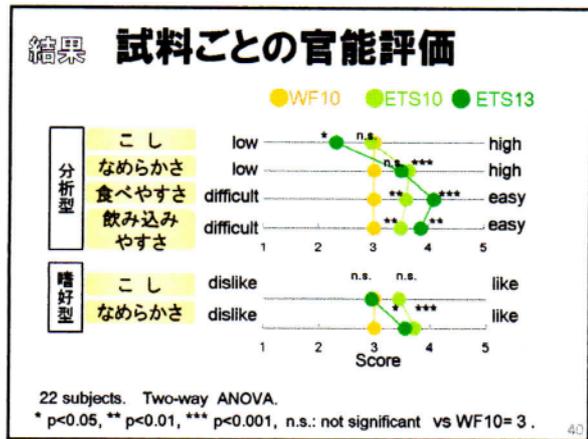
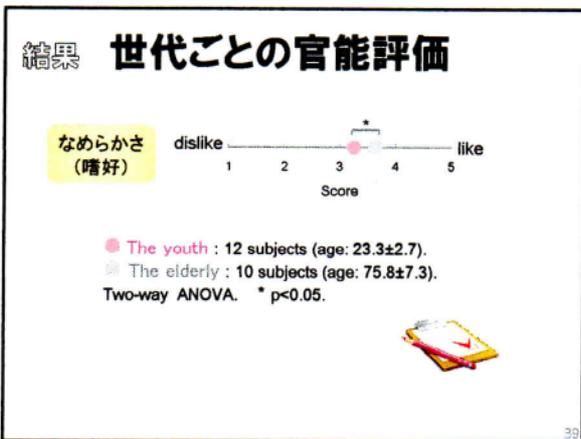
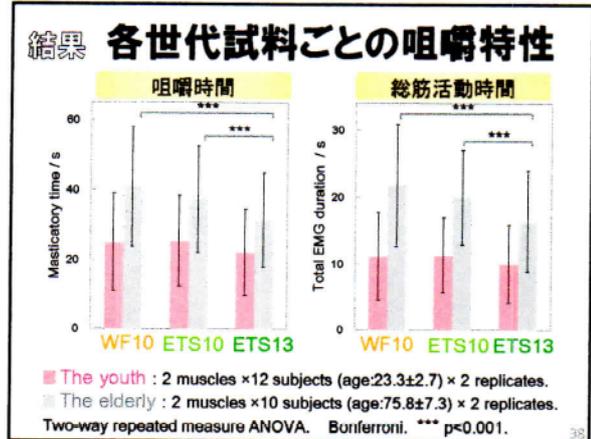
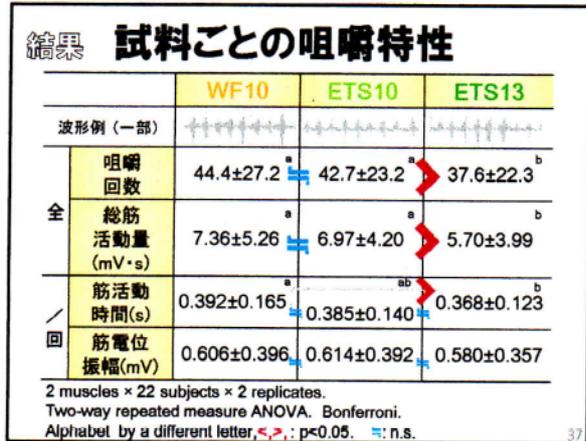
被験者 ▶▶ 高齢者10名(75.8±7.3歳)
▶▶ 若年者12名(23.3±2.7歳)



結果 世代ごとの咀嚼特性

	若年者	高齢者
波形例 (一部)		
咀嚼周期(s)	0.678 ± 0.058	0.888 ± 0.254
筋活動時間(s)	0.300 ± 0.043	0.480 ± 0.156
筋電位振幅(mV)	0.686 ± 0.355	0.498 ± 0.381
全咀嚼回数	36.7 ± 20.9	47.4 ± 26.7

The youth: 2 muscles × 12 subjects (age:23.3±2.7) × 2 replicates.
The elderly: 2 muscles × 10 subjects (age:75.8±7.3) × 2 replicates.
Two-way repeated measure ANOVA. Bonferroni. <>: p<0.05. <.>: n.s.



まとめ エステル化タピオカ澱粉6%混合麺 高齢者向け食品に適性？ (ゆで時間を変えて)

ETS13 (6%,13分) ゆで時間 ⇒ 水分 ⇒ 咀嚼

- 水分 ↗ やわらかさ ↘
- 高齢者 食べやすさ ↗ 嗜好性 ↗
- 噛みごたえ維持

ETS13 :
食べやすく
咀嚼機能維持にも役立つ
高齢者向け食品の適性あり

第3章

うどんの物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼす エステル化タピオカ澱粉濃度の影響



研究目的

エステル化タピオカ澱粉混合麺
高齢者向け食品に適性？
(濃度を変えて)

物性 ?

高年齢者の咀嚼性 ?
(若年者と比較)

嗜好性 ?

方法 試料

高齢者向け食品◎(第2章)

	0%	6%	10%	15%
原材料	100	94	90	85
乾燥	東亜食品工業㈱製 【炭水化物】76.3~76.9% 【たんぱく質】7.8~8.8% 【脂質】1.0~1.4% 【灰分】1.4~1.5%			
調製	2.5×4.2 mm 2.0×4.4 mm 2.2×4.5 mm 2.2×4.5 mm			

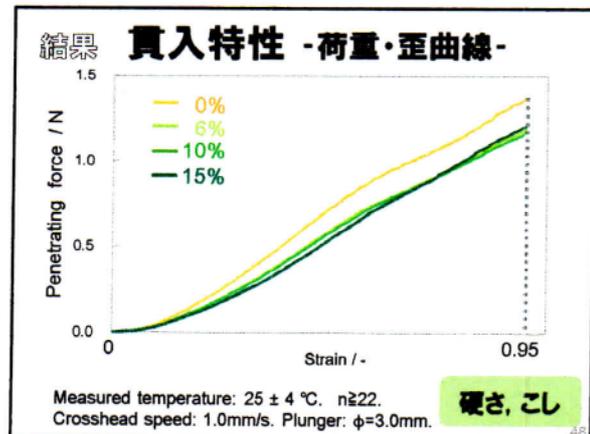
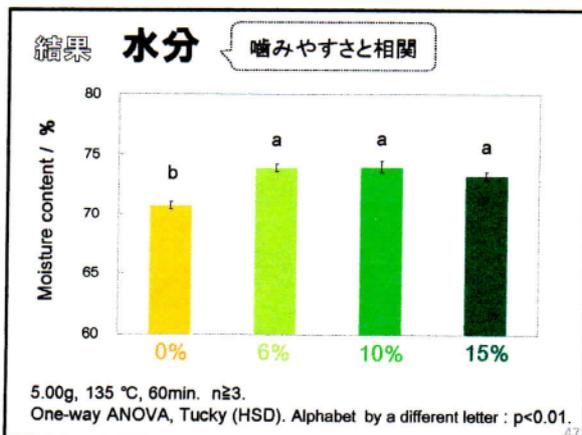
中力小麦粉 「ゴールドマーガレット」 近畿製粉㈱製
エステル化タピオカ澱粉 「松谷さくら」 松谷化学工業㈱製

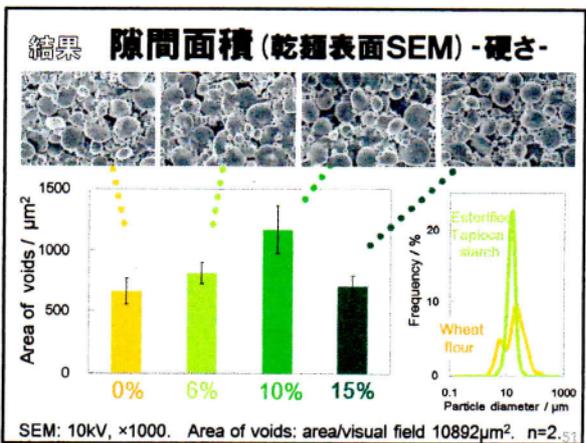
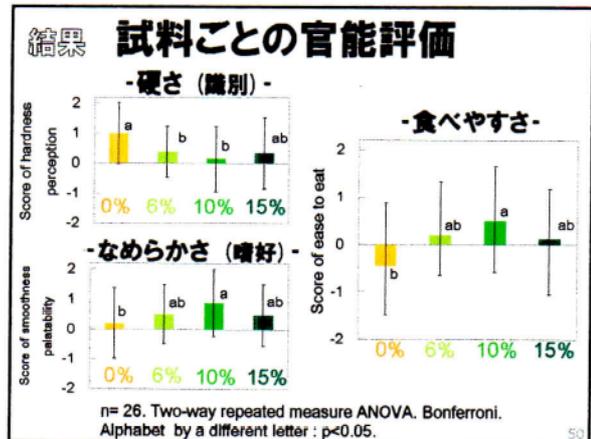
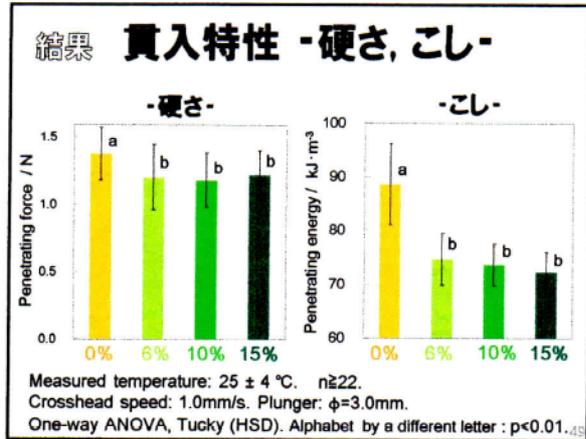
強火13分ゆで ⇒ 冷却⇒水切り⇒(1分以内)試料

方法 測定項目

水分 FD-600 ケツト科学研究所	貫入特性 RE-3305 山電	SEM観察 JCM-5000 日本電子
粒子径分布 Microtrac FRA LEEDS & NORTHRUP	咀嚼筋筋電位 (EMG) 咬筋 (閉口筋) 舌骨上筋群 (開口筋)	
官能評価 五段階評点法	Personal-EMG 造坂電子機器 BIMUTASII キッセイコムテック 兵庫県立大学研究倫理委員会の承認	

被験者 ▶ 高齢者14名(77.1±7.5歳) ▶ 若年者12名(22.5±3.0歳)

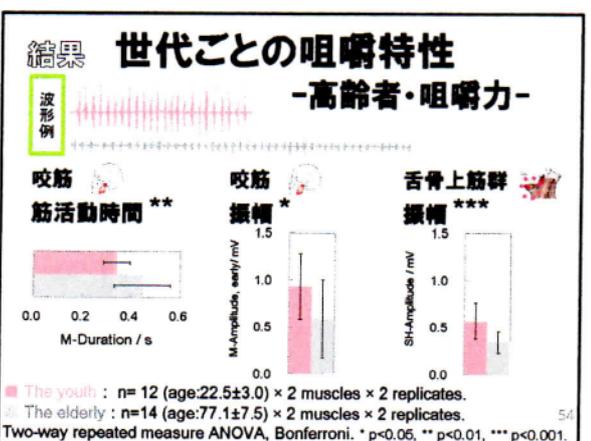
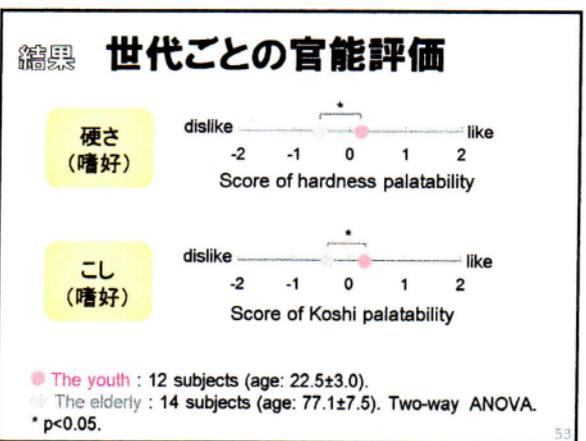


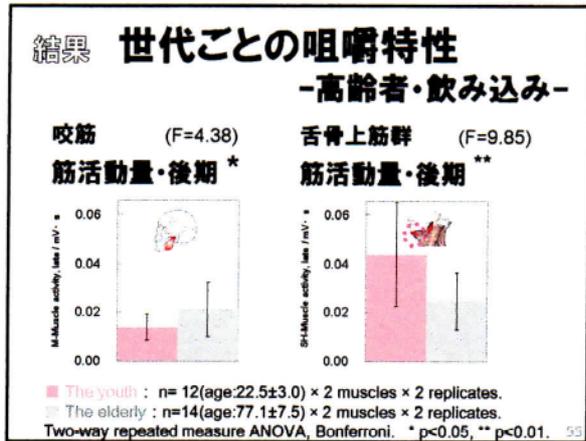


結果 試料ごとの咀嚼特性

	0%	6%	10%	15%	
全	咀嚼回数 (回)	43.4±25.9	41.6±24.2	42.5±23.5	41.5±19.8
	咀嚼時間 (s)	30.4±15.3	30.0±15.3	29.9±13.9	30.1±12.9
回	咀嚼周期 (s)	0.721±0.179	0.718±0.208	0.720±0.191	0.726±0.191
	咬筋振幅 (mV)	0.758±0.431	0.741±0.434	0.754±0.438	0.735±0.412

2 muscles × 26 subjects × 2 replicates.
Two-way repeated measure ANOVA. Bonferroni. = n.s.





まとめ エステル化タピオカ澱粉混合麺 高齢者向け食品に適性？ (濃度を変えて)

濃度の影響	高齢者の特徴
<p>10% (0%比)</p> <p>↑ 食べやすさ (官能評価)</p> <p>水分 ↓</p> <p>硬さ ↓</p> <p>なめらかさ (嗜好) ↓</p> <p>↓ 澱粉間の隙間・広</p> <p>EMGIに影響なし</p>	<p>【嗜好性】</p> <p>咀嚼力低下により硬さを好まず</p> <p>【咀嚼性】</p> <p>最終嚥下において舌骨上筋群を咬筋でカバー</p>

総括

うどん

中力小麦粉+エステル化タピオカ澱粉

- ・ 余熱利用調理の調理性改善に有効
- ・ 高齢者向け食品に適性あり

<p>【物性制御】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料の成分、粒子径分布 ・ 麺の構造 	<p>【咀嚼性】 【嗜好性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高齢者と若年者で異なる
---	--

原著

- キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究
江口智美, 山崎理加, 吉村美紀 / 日本調理科学会誌, 44, 417-426, 2011
- タピオカ澱粉配合麺の力学特性と若年者および高齢者による咀嚼特性
江口智美, 吉村美紀, 神山かおる / 日本食品科学工学会誌, 59, 269-278, 2012
- Effects of mixture of esterified tapioca starch on physical and thermal properties of Japanese white salted noodles prepared by utilization of remaining heat
S. Eguchi, N. Kitamoto, K. Nishinari, M. Yoshimura / Food Hydrocolloids, 35, 198-208, 2014
- うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉混合濃度の影響
江口智美, 吉村美紀 / 日本食品科学工学会誌, 61, 353-361, 2014

関連論文①

- 寒天と魚鰭由来コラーゲンペプチド混合ゲルから調製したゲルの物性【原著論文】
小野寺允, 深江亮平, 江口智美, 西成勝好, 吉村美紀 / 日本食品科学工学会誌, 59, 22-33, 2012
- キャッサバ配合麺のテクスチャー評価に関する研究【報告書】
はりまうどん研究会として / 姫路市産学協同事業報告書, 2012
- 食物繊維と咀嚼【依頼原稿】
吉村美紀, 江口智美 / Functional Food, 23, 13-17, 2013
- 白玉粉の粒子に及ぼす水換条件の影響【原著論文, 筆頭著者】
江口智美, 北元憲利, 鈴木道隆, 小河拓也, 吉村美紀 / 日本食品科学工学会誌, 60, 711-717, 2013
- 嗜好性の向上をめざした高齢者用食品の開発【依頼原稿】
吉村美紀, 江口智美 / ファインケミカル, 43, 21-28, 2014

関連論文②

- コラーゲンペプチドの分子量が米粉ケーキの食味と物性に及ぼす影響【原著論文, 筆頭著者】
江口智美, 池浦友美, 土居品裕, 深江亮平, 吉村美紀 / 日本調理科学会誌, 47, 1-9, 2014
- 豆乳・米粉・油脂混合エマルションのゲル化特性(1): 酢酸による凝固の検討【原著論文】
吉村美紀, 江口智美, 東藤あかね, 中川究也 / 日本食品工学会誌, 15, 243-249, 2014
- 豆乳・米粉・油脂混合エマルションのゲル化特性(2): 凍結環境下における凝固特性の検討【原著論文】
中川究也, 藤井祐太, 江口智美, 吉村美紀 / 日本食品工学会誌, 15, 251-258, 2014

学会発表①



1. キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による物性と食味への影響
江口智美, 大野光生, 吉村美紀 / ビジネスアリーナ2010 in兵庫, 2010 / 第3回兵庫県立大学シンポジウム, 2010
2. キャッサバデンプン配合麵のむらし調理による食感とエネルギー消費量に及ぼす影響
江口智美, 山崎理加, 吉村美紀 / 日本家政学会関西支部, 2010 / 第7回環境人間学フォーラム, 2010 / 地域連携卒業成果発表プログラム, 2010
3. キャッサバデンプン配合麵の高齢者による咀嚼性
江口智美, 吉村美紀 / 第34回日本バイオレオロジー学会年会, 2011
4. キャッサバデンプン配合麵の力学特性と咀嚼特性
江口智美, 吉村美紀 / 第59回レオロジー討論会, 2011

61

学会発表②



5. タピオカ澱粉配合麵の調製時におけるむらし操作導入の効果
江口智美, 吉村美紀 / 日本家政学会第64回大会, 2012 / 一日・はりま産学交流会in書写キャンパス, 2012
6. タピオカ澱粉配合麵の力学特性と若年者と高齢者による咀嚼特性の比較
江口智美, 吉村美紀, 神山かおる / 第35回日本バイオレオロジー学会年会, 2012
7. うどんの力学特性と食べやすさに及ぼすタピオカ澱粉配合の影響
江口智美, 北元憲利, 吉村美紀 / 日本家政学会関西支部第34回研究発表会, 2012
8. うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉配合の影響
江口智美, 吉村美紀 / 日本食品工学会第14回年次大会, 2013

62

関連学会発表



1. コラーゲンペプチドの保水特性
池浦友美, 江口智美, 深江亮平, 吉村美紀 / 第35回日本バイオレオロジー学会年会, 2012
2. 白玉粉の粒子に及ぼす水換条件の影響
江口智美, 北元憲利, 鈴木道隆, 吉村美紀 / 日本調理科学会東海・北陸支部, 近畿支部合同研究発表会, 2012
3. うどん麵のテクスチャーに及ぼす投入温度とタピオカ澱粉配合の影響
江口智美, 山本美晴, 吉村美紀 / 第36回日本バイオレオロジー学会年会, 2013
4. 豆乳・米粉混合ゲルの酸凝固
吉村美紀, 江口智美, 東麗あかね, 中川究也 / 第36回日本バイオレオロジー学会年会, 2013
5. コラーゲンペプチドが米粉ケーキの食味と物性に及ぼす影響
江口智美, 池浦友美, 深江亮平, 吉村美紀 / 日本調理科学会平成25年度大会, 2013

63

謝辞



兵庫県立大学大学院 吉村美紀 教授	湖北工業大学 西成勝好 特別招聘教授
北元憲利 教授	独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究所 食品総合研究所
加藤陽二 教授	神山かおる 博士 食品物性ユニットの皆様
川崎医療福祉大学大学院 長野隆男 教授	東亜食品工業(株) 被験者の皆様
	兵庫県立大学大学院 深江亮平 教授 鈴木道隆 教授

心より深くお礼申し上げます

64



ご清聴
ありがとうございました

65