



センサシートを用いた嚥下筋活動計測による食品評価

大森 信行^{*1} 村澤 智啓^{*1} 相澤 淳平^{*1} 百瀬英哉^{*2}
 小山吉人^{*3} 栗田浩^{*3} 吉田宏昭^{*4} 上條正義^{*4}

Measuring Muscle Activities by using Electromyography Electrodes Attached to a Sheet for Food Development

Nobuyuki OHMORI^{*1}, Chihiro MURASAWA^{*1}, Jumpei AIZAWA^{*1}, Hideya Momose^{*2}, Yoshito KOYAMA^{*3}, Hiroshi KURITA^{*3}, Hiroaki YOSHIDA^{*3}, and Masayoshi KAMIJO^{*4}

Abstract - In order to measure muscle activities during swallowing, surface electromyography and swallowing sound are most commonly used. Sensors such as electrodes for electromyography, vibration pickups and microphones for swallowing sound must be placed at appropriate positions on the subject's front neck area. Knowledge about swallowing activities and muscles is required for the measurement. Therefore, the examinations cannot be used commonly in food development process because acquiring the knowledge and measuring properly are not easy for beginners. In order to measure muscle activities during swallowing in an easy method for the purpose of developing value-added food which are based on human's swallowing activities and taste sensitivity, we propose a sensor sheet that consists of multiple electromyography electrodes. The experimental results show that we can measure the muscle activities through food swallowing by using the proposed sensor sheet.

Keywords: Swallowing, Sensor-sheet, Electromyography and food

1. はじめに

食品メーカーにおいては、豊かな食生活の実現を目指し、食べやすさに着目し、咀嚼・嚥下機能の低下した人であっても経口摂食することを目指した食品の開発が進んでいる^[1-3]。地域の食品製造企業においても、長野県では乾燥技術や酵素処理を利用した軟らかく食べやすい食品等^[4]、広島県では凍結含浸法による介護食品の開発^[5]に取り組んでいる。介護食品開発では、咀嚼、嚥下しやすさの基準として、食品自体の硬さ等の物性値が従来より利用されている^[1,6]。これらの基準は、物性値により食品をいくつかの分類に区分し、診断、評価されたヒトの嚥下機能に応じた区分の食品を提供するために病院や施設等で利用されている。

一方で、食事において、栄養摂取の観点に加えて、おいしく食べること^[7]、経口による栄養摂取の楽しみ・幸福感^[8]の重要性が指摘されている。食品に関して咀嚼、嚥下前後の過程で知覚された情報がどのように主観的な食嗜好、おいしさ、満足度等へ繋がるかを明らかにするための研究が行われている。例えば、五感の感覚、文化や習慣により学習された評価基準及び摂食時点の心身の

環境に着目して食嗜好を解明しようとするモデル^[9]や飲料の嗜好度と筋活動の継続時間のモデルが提案されている^[10]。

著者らはセンシング技術を活用して嚥下過程の筋活動を計測することにより、ヒトの食嗜好に関する仕組みを調査し、おいしさを感じられる食品の開発へと活用することを目指して、計測用のセンサシートを開発してきた。本研究では長野県内の企業において開発した酵素処理を活用して柔らかく食べやすい食品である野菜の煮物を対象として、嚥下時の筋活動をセンサシートにより計測し、飲み込みに関する主観評価とともに、食品の嚥下しやすさを検討した。

2. 食品の評価と生体計測

2.1 ヒトの嚥下動態

口腔内の飲食物を胃に送り込む嚥下においては、嚥下に関連する複数の筋肉(筋群)が順次活動を行うことで飲食物(食塊)が口腔から咽頭、食道を経由して胃に到達する。口腔内の食塊を食道に送り込むまでの間には、鼻腔と咽頭腔の間が閉鎖、気管への進入を防ぐために声門が閉鎖、喉頭部の拳上、食道入口部の弛緩と収縮等の動作が行われており、この動作に必要な複数の筋肉が、嚥下反射により活動を開始し、適切な順序で活動している。例えば加齢による嚥下反射の遅延や、嚥下反射運動の速度低下^[11]といった筋肉の活動の乱れにより嚥下機能が低下すると、誤嚥つまり正常に嚥下ができずに飲食物が気管へ入ることの原因となる。

なお、咀嚼から嚥下までの摂食のプロセスは食品の種

*1: 長野県工業技術総合センター 材料技術部門

*2: 株式会社西澤電気計器製作所

*3: 信州大学医学部

*4: 信州大学繊維学部

*1: Material Technology Department, Nagano Prefecture General Industrial Technology Center

*2: Nishizawa Electric Meters Manufacturing Co., Ltd.

*3: School of Medicine, Shinshu University

*4: Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

類によって異なり複数のモデルが提案されている^[11,12]。本稿では、4期モデルにおける口腔準備期、口腔送り込み期、咽頭期及び食道期^[11]の中で、食物を咀嚼し、唾液と混ぜて食塊を形成する口腔準備期に相当する活動を「咀嚼」、食塊を咽頭へ送り込む口腔送り込み期及び食道へ押し進める咽頭期に相当する活動を「嚥下」と呼ぶ。

2.2 食品の評価

食品開発、食事の提供においては、食品の硬さ等の物性値やとろみ状・ゼリー状等の性状^[1,6,13]、タンパク質や脂質等の栄養素毎の含有量並びにエネルギー量^[14]に基づく化学的な成分に基づく評価が行われる。

食品による美味しさの要因には、化学的な成分により生じる甘味、酸味といった化学的な味と、テクスチャを主体とする物理的な味があり、ともにおいしさへの影響が報告されている^[15]。

そのため咀嚼、嚥下過程において化学的な味やテクスチャにより生じる生体反応を計測することで、ヒトの美味しさを感じる仕組みをより詳しく解明しようとする研究が行われている。咀嚼においては、嚥下機能が低下した方々に提供される刻み食と普通食を対象として、筋電図による咀嚼時の筋活動の違いを調査したり^[16]、口腔内の圧力測定によって物性値では調査が困難な食品形状による咀嚼力への影響を調査^[17]が行われておりこの他にも複数の食品の咀嚼時の筋活動が測定されている^[18]。

嚥下における前頸部の筋活動を測定した研究として、松重ら^[19]は咽頭期の嚥下に関与するオトガイ舌骨筋(図1及び図2の位置A)等の4か所の表面筋電図により嚥下関連筋群の活動順序を計測し、加齢等が嚥下時の筋群の活動順序に影響を及ぼすことを明らかにしている。金子ら^[20]は、筋電図電極、マイクロフォン、及び圧力センサを前頸部に取り付けて嚥下時の喉頭の上下移動をはじめとする生体反応を非侵襲的かつ定量的に測定する装置を提案しており、複数種類のお粥について物性値及び官能評価と一致する測定結果を得ている。飲料を対象とした研究では、藤田ら^[21]は、ビールを嚥下した際の前頸部の運動を計測し、ビールの苦みにより筋活動量が増加すること報告している。三輪ら^[10]は、炭酸飲料を対象に飲料の嗜好度と嚥下活動の関係のモデル化を試みている。このように、食品のテクスチャが、飲み込みやすさ、喉越しなどの美味しさに与える影響について、嚥下時の筋活動を通して測定できる可能性がある。

2.3 生体計測における課題

医療(臨床検査)においては、嚥下において食塊が口腔、咽頭、食道へ移動する状態を把握するために、X線造影や内視鏡検査が行われる。これらは、患者の被曝や苦痛を伴う、負担の大きな侵襲的な検査であり、侵襲度の小さい低侵襲、非侵襲な検査が望まれている。

嚥下時の生体反応を非侵襲的に測定する方法である筋電図や嚥下音による測定では、センサの取り付けが課題

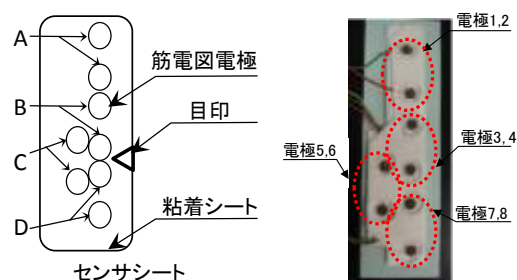


図1 試作したセンサシート

Fig.1 Prototype of Sensor sheet.

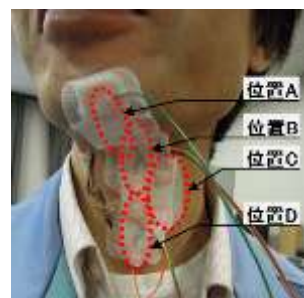


図2 試作したセンサシートの取り付け状態

Fig.2 Sensor sheet pasted to a subject.

として挙げられる。嚥下音や筋電図測定では、加速度及び筋電図電極等のセンサを測定に適した位置^[11,22,23]に取り付ける必要があり、嚥下に関連する筋群並びにその位置に関する知識のある専門家が測定を行う必要があった。すなわち、被験者の筋の位置にあわせて貼り付けるためには、1つ1つのセンサごとに、貼り付ける位置を決定する作業が必要である。このように、これまでの嚥下音や筋電図による測定方法では、測定できるのは専門家に限られること、センサの固定に時間がかかるという課題があった。筆者らの知る限り、専門知識を有しないユーザであっても利用でき、より容易に取り付けのできるセンサを使う嚥下機能評価の研究は行われていない。

そこで、センサ取り付けに関する課題を解決するために、簡易な手順でセンサの取り付けができる非侵襲的な嚥下機能評価装置の開発を目指し、筆者らはセンサシートによって嚥下関連筋群の活動を計測する手法を提案しており、嚥下時の筋活動を測定できることを野沢菜漬けを対象とした実験により確認してきた^[24]。本稿では、センサシートによる嚥下過程の筋活動測定が煮物の評価において有効であることを報告し、主観評価との関係を検討した。

3. 嚥下筋活動測定のためのセンサシート

2.3節で述べた非侵襲的な嚥下筋活動測定におけるセンサ取り付けの課題が解決されれば、嚥下活動計測が医療や食品開発へさらに普及することが期待できる。そこで、これらの課題を解決するために図1に示す粘着シート上に複数の筋電図電極を取り付けたセンサシートによる測定を提案する。本センサシートは、「個人毎の測定

対象の筋群の位置に厳密にセンサを取り付けなくても、筋の近傍へ取り付けができれば、嚥下に関連する筋活動の測定が可能である」という知見^[24,25]に基づいている。センサシート上の筋電図電極は、シートを前頸部に貼り付けた際に、被験者の嚥下関連筋群の位置と一致する状態で粘着シートに固定されている。このセンサシートを被験者の前頸部に取り付けることで、同時に複数の筋電図電極を被験者に貼り付けることができるので、取り付け時間の削減が期待できる。また、図1の目印のように、取り付け時に位置合わせを行うための取り付け指標をセンサシートへ表記する。取り付け指標があらかじめ定めた位置(例えば、甲状軟骨の位置)と合うよう取り付けの一回の作業で、専門家でなくても複数の筋電図電極を被験者の測定しようとする筋の位置に合わせて取り付けることができる。

本稿で試作したセンサシートは、図2の通り粘着シートに筋電図電極を組み込んだものである。電極8個は図2の位置AからDでの測定ができる位置に配置した。この位置関係は、1名の成人男性被験者における筋群の位置に基づいて決定した。嚥下音を測定するためのマイクフォンは、センサシートとは別に被験者へ取り付けることとした。

4. センサシートによる実験

4.1 嚥下時の筋活動測定

被験者が試料食品を嚥下する際の加速度及び筋電図を測定した。被験者には試作したセンサシートを図2の通り貼り付け、筋電図を4カ所で測定した。試料食品は煮物として調理した野菜(にんじん、ごぼう、れんこん、かぼちゃ)及び鶏肉(つくね)の5種類とした。それぞれフリーズドライ(FD)加工を行ったものと、行わない普通の2種類である。にんじん、ごぼう、れんこんはFD加工したものには柔らかくするための酵素処理を行った。かぼちゃは他のものと味付け、煮込み時間等が異なるものを利用した。各食品は図3に示すように2gを1回の嚥下量とし、被験者は1名あたり5種類の各食品についてFD処理あり・なしをそれぞれ6回ずつ、合計60回の嚥下を行った。試料食品の摂食は、食品種類及びFD処理の有無に関して被験者ごとにランダムな順序で行った。被験者は20代4名、30代3名、40代4名、50代7名、60代1名で男性16名、女性3名である。嚥下にあたり必要に応じて咀嚼してもよいこと、できるだけ1回で嚥下すること及び嚥下タイミングの指示は行わず、タイミングを記録するため飲み込む際に被験者自身がボタンを押す等の合図をすることを指示した。各種類の食品を嚥下した後に表1に示す項目について5段階の主観評価をFD処理の有無に関する一対比較により実施した。マイクフォンは1個を被験者から見て右側前頸部へ貼り付けた。咀嚼回数は観察者の目視により計算し



図3 試料食品2種類(各6回嚥下量)
Fig.3 Food sample for swallowing.



図4 しあわせ信州食品開発センターでの実験
Fig.4 Tasting room for experiments.

表1 主観評価質問文
Table 1 Sensory test questions.

No.	質問文
1	硬かったですか？
2	口当たりは良かったですか？
3	また食べたいですか？
4	口の中で食物は細くなりましたか？
5	飲み込みやすかったですか？
6	のどに引っかかる感じがありますか？
7	たくさん噛みましたか？
8	食物はまとまり易かったですか？
9	口の中にくっつきましたか？
10	口または喉の中に食品が残る感覚がありましたか？
11	咀嚼せずに(噛まずに)に飲み込みましたか？
12	口の中で食物は細くなりましたか？

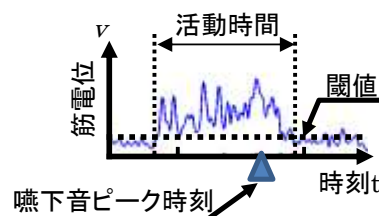


図5 筋電図測定結果と活動時間計算の例(位置A オトガイ舌骨筋)
Fig.5 EMG Waveform and example of activity duration calculation.

た。実験は図4のとおり当センター内のしあわせ信州食品開発センターにおいて行った。

筋電図測定結果から筋活動の開始および終了時刻を調べるため、既報^[24,25]を参考に以下の(1)から(4)の手順で、波形の立ち上がり時刻(開始時刻)及び立ち下がり時刻(終了時刻)を計算した。

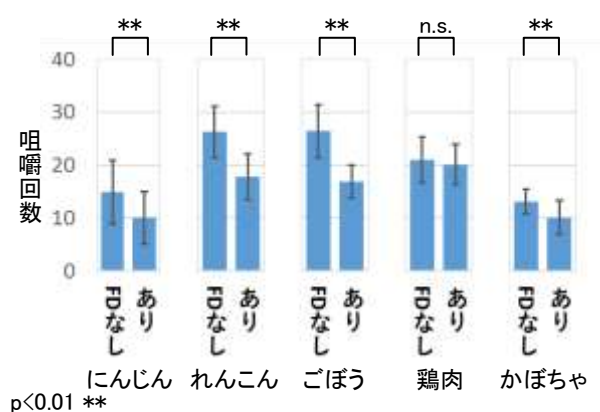


図 6 各食品の咀嚼回数
Fig.6 The number of mastication.

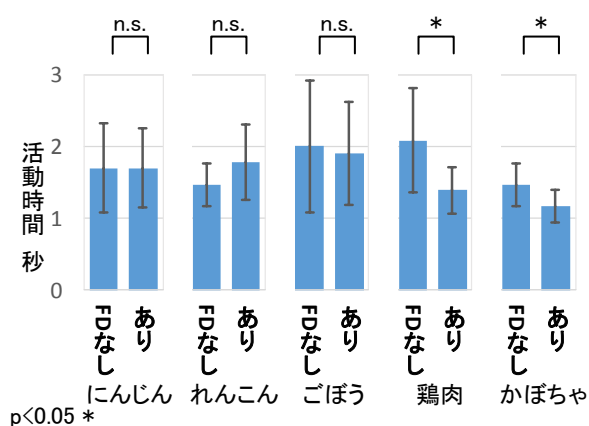


図 7 センサシートにより得られた各食品の活動時間
(位置 B)

Fig.7 Activity duration measured by using the sensor sheet
(Position B).

(1) 加速度及び筋電図波形から 100 から 200Hz の帯域をフィルタ処理により取り出し、全波整流と 10Hz 低域通過フィルタによる平滑化を行った。

(2) 食品が咽頭を通過する際に嚥下音が発生する時刻を調べるため、嚥下音が最大となる時刻を嚥下音ピーク時刻とした。

(3) 筋活動が開始した時刻を調べるため次の手順で各位置における筋電図の測定結果から開始時刻を計算した。嚥下音ピーク時刻より前であらかじめ定めた閾値以上の値となる時刻のうち、その時刻前の一定時間、閾値未満の値が連続する時刻を取り出し、最も嚥下音ピーク時刻に近いものを開始時刻とした。

(4) 筋活動が終了した時刻を調べるため、終了時刻は、開始時刻より後で閾値以上の値となる時刻のうち、その時刻後の一定時間、閾値未満の値が連続する時刻を取り出した中で、最も開始時刻に近いものとした。

ただし、開始、終了時刻は、波形及び被験者が提示した嚥下タイミングの記録に基づいて、明らかに嚥下をしていない時間帯を計算対象から取り除いた上で計算した。

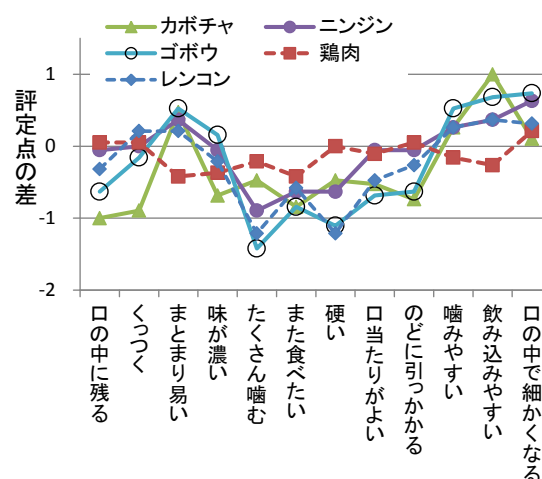


図 8 主観評価によるFD有無の評定点の差
Fig.8 The difference of the sensory test scores.

4.2 実験結果

4 カ所の筋電図測定結果から計算した開始時刻と終了時刻に基づき、位置 A から D における開始と終了時刻の差から活動継続時間を求めた。活動継続時間の計算例を図 5 に示す。

その後、各位置における活動継続時間について、被験者内の平均値(同一条件における 6 回の嚥下の平均値)から被験者間の平均値を計算した。活動継続時間は、食品の種類(5 条件)のそれぞれにおいて、処理(FD なし・あり)の 2 条件)について計算した。合計 10 条件の各条件では、活動継続時間の被験者内平均を計算した。被験者内平均において、計算に必要な開始時刻、または終了時刻が存在しない結果では、遅れ時間または活動継続時間を欠損値とし、各条件における 6 回の嚥下試行の中で欠損値を除いた結果から計算した。

各食品 5 種類において、ある位置で処理の 2 条件のうち 1 条件以上で 6 回の試行全てが欠損値となった被験者の結果では、当該食品及び位置の被験者内平均は利用せずに、被験者間平均を計算した。各食品の 4 箇所の計測位置において、処理(FD なし・あり)による活動継続時間の差についての t 検定を行ったところ、位置 B において処理(FD あり・なし)による活動継続時間に 5%水準で有意な差があった食品は、鶏肉($t(18) = 2.18, p = 0.043 < 0.05$)及びかぼちゃ($t(18) = 2.14, p = 0.047 < 0.05$)であった。同様に、処理(FD あり・なし)による咀嚼回数の差についての t 検定を行ったところ、鶏肉を除く 4 種類ではいずれも有意な差があった。5 種類の食品に関する咀嚼回数、測定位置 B における活動継続時間をそれぞれ図 6、図 7 に 95%信頼区間及び t 検定結果とともに示す。

主観評価結果では FD なしに対する FD ありの評定点の差を計算した結果を図 8 に示す。食品ごとに対応のある t 検定を実施したところ、表 1 の中で「たくさん噛む」「また食べたい」「硬い」の 3 つの質問は、鶏肉を

除く 4 種類の食品において 5%水準で有意に評定点が低下した。

5. 考察

FD 有無での比較では、図 6 の咀嚼回数は鶏肉のみ有意差がなく他の野菜 4 種類は有意差があり、図 7 の筋活動時間は鶏肉、かぼちゃで有意差があった。咀嚼によって嚥下の前までに口腔内の食品の物性値が一定の範囲に達するとの研究^[26]によればにんじん、れんこん、ごぼうでは酵素または FD 加工の有無による食品の硬さの違いは主に咀嚼中に吸収され、飲み込む際には口腔内の食塊の物性値の差が小さかったため嚥下活動にも大きな差が生じなかったことが考えられる。これに対して鶏肉においては硬さなどの物性値が FD の有無で大きく変わらなかったため咀嚼回数は有意差がなく、一方で物性値の違いを知覚した結果として筋活動時間に差が生じたと考えられる。図 8 の主観評価において「硬い」「たくさん噛む」の評定点がにんじん、れんこん、ごぼうにおいて FD 処理により有意に低下し、鶏肉では有意差がない点とも一致する結果である。

咀嚼、嚥下筋活動と主観評価の関係について検討する。にんじん、れんこん及びかぼちゃでは咀嚼回数、質問「たくさん噛む」「また食べたい」「硬い」の評定点においてそれぞれ FD 有無の間に有意な差があった。かぼちゃ、鶏肉は筋活動、質問「味が濃い」の評定点においてそれぞれ FD 有無の間に有意な差があった。これらは、有意差の有無による限られた結果ではあるが、筋活動は化学的な味と、咀嚼は物性値及び嗜好度と同様の傾向を示す可能性が確認できた。

以上から咀嚼回数とセンサシートによる筋活動継続時間は、それぞれ摂食過程における異なる段階の活動を計測していたため、得られる結果も異なるが、両者を組み合わせることで咀嚼から嚥下の過程における食品の食べやすさをより適切に評価できる可能性が確認できた。摂食における咀嚼、嚥下筋活動は一定の関係があると考えられるが、どちらか一方で摂食動態を全て説明するには限界があり、両方の測定を組み合わせることで新たな知見を得られる可能性が確認できた。

酵素または FD 加工の効果としては、味付けの同じにんじん、れんこん、ごぼう、鶏肉の中で 3 種類の野菜において、咀嚼回数が減少したことから、少ない咀嚼回数で嚥下可能とする効果があり、鶏肉では筋活動時間が短くなったことから、飲み込みやすくする効果があったと考えられる。かぼちゃにおいては、両方の効果があるが FD の有無で味付けが異なることから、咀嚼、嚥下の違いにおける味付けの影響を検討する必要がある。ただし、これらは健常者による結果であり、障害のある被験者では傾向が変わる可能性がある。

今後の課題としては、咀嚼筋電位等によるセンサシー

トの測定のノイズの削減方法の検討、活動時間が図 7 に示す時間よりも明らかに長時間となった波形も嚥下筋活動として扱っているが、その妥当性の検証等があげられる。

6. 結論

嚥下時における前頸部の複数個所の筋活動を測定するためのセンサシートによる方法を提案した。試作したセンサシートによる実験の結果、食品種類の違いにより筋活動に差が生じることを測定でき、咀嚼から嚥下の過程における食べやすさを計測できたことから、センサシートによる測定の有効性及び生理計測による食品の価値評価の可能性が確認できた。

今後は、年齢、嚥下障害の有無等の異なる多くの被験者に対しての有効性を検証するとともに、飲み込みやすく、かつ喉越し等の美味しさを味わえる食品の開発に向けて、測定した筋活動と、食品の物性値、官能評価等との関係について検討が必要である。

謝辞

実験にご参加いただいた被験者各位、食品を御提供いただいたアスザックフーズ(株)中田孝様、食品評価に御協力いただいた食品技術部門吉川茂利部長、山崎慎也技師に感謝いたします。国立研究開発法人産業技術総合研究所人間情報研究部門井野秀一グループ長、遠藤博史主任研究員、近井学研究員、同グループ各位、丸子中央病院岡元和文先生、材料技術部門北沢俊二部門長には有益な御議論をいただきました。本研究は総務省戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)の支援により実施したものです。

参考文献

- [1] 藤崎: ユニバーサルデザインフード. 日本食品科学工学会誌; Vol. 55, No.2, pp.78 (2008)
- [2] 東口: 保形軟化食品あいとの開発とその物性評価ならびに人工消化液浸漬試験による崩壊性と消化性の検討; 静脈経腸栄養; Vol. 26, No.3, pp.965-976 (2011)
- [3] 農水省 介護食品のあり方に関する検討会議 社会システムに関するワーキングチーム: 「新しい介護食品(スマイルケア食)」を活用した食支援のための社会システム構築に係る課題; (2014)
- [4] 長野県工業技術総合センター: 平成 25 年度 研究開発型企業育成事業 報告会資料(高齢者向け e.e.食品開発研究会・食品技術部門); (2014)
- [5] 坂本,柴田,石原,中津: 硬さ制御技術(凍結含浸法)を用いた高齢者・介護用食品の開発; 日本食品科学工学会誌; Vol. 55, No.11, pp.522-528 (2008)
- [6] 消費者庁: 特別用途食品の表示許可等について 消費表第 277 号; (2011)

- [7] 日摂食嚥下リハ会: 摂食・嚥下障害患者の栄養; 東京, 医歯薬出版 (2011)
- [8] 井上: 嚥下機能にまつわる昨今の生理学的知見; 新潟歯学会雑誌; Vol. 42, No.2, pp.77-78 (2012)
- [9] 相良: 食感性工学のパラダイムと展望; 日本食品科学工学会誌; Vol. 56, No.6, pp.309-316 (2009)
- [10] 三輪,持丸,野場,舩田: 嚥下音による炭酸刺激強度と嚥下活動のモデル化; 第 23 回バイオメカニズム・シンポジウム予稿集. p.119-128 (2013)
- [11] 才藤, 向井 監修: 摂食・嚥下リハビリテーション; 東京, 医歯薬出版 (2007)
- [12] 松尾,柴田,才藤: プロセスモデルで考える摂食・嚥下リハビリテーションの臨床; 東京, 医歯薬出版 (2013)
- [13] 日摂食嚥下リハ会: 嚥下調整食分類 2013; 日摂食嚥下リハ会誌; Vol. 17, No.3, pp.255- 267 (2013)
- [14] 厚生労働省: 日本人の食事摂取基準(2015 年版); (2015)
- [15] 神山: 食品・栄養学における咀嚼研究, 日本咀嚼学会雑誌; Vol. 13, No.2, pp.49-57 (2003)
- [16] 神山: 高齢者に咀嚼しやすい日本型食素材. 日本栄養・食糧学会誌; Vol. 58, No.2, pp.103-106 (2005)
- [17] 神山: 多点シートセンサシステムで解析した食品の咀嚼性と力学特性;食糧, No.49, pp.85-108 (2011)
- [18] 柳沢,田村,寺元,赤坂: 食物の咀嚼筋活動量,及び食物分類に関する研究食物の咀嚼筋活動量,及び食物分類に関する研究; 小児歯科学雑誌; Vol. 27, No.1, pp. 74-84 (1989)
- [19] 松重,伊賀,林田,村山,古閑: 表面筋電図とマイクروفोनによる嚥下協調運動の検討; 信学技報, MBE2009-85, p.43-47 (2010)
- [20] 金子,林,中村,石田,高橋,新井,山田,道見,野村: 喉頭運動・舌骨上筋群筋電図・嚥下音の同時計測による嚥下機能の評価; 信学技報, BME2001-102, p.135-142 (2001)
- [21] 藤田,村山,林,中村,小島,道見: 嚥下機能評価システム SFN-1 を用いたビール飲み込み時の嚥下動態の解析; 信学技報, MBE2006-7, p.25-28 (2006)
- [22] 中山,高橋,宇山,平野,深澤,南雲: 嚥下音の産生部位と音響特性の検討. 昭和歯学会雑誌; Vol. 26, No.2, pp.163-174 (2006)
- [23] 宮田 監修, 藤沢,山崎,柿木 編集: 新生理心理学 1 巻; 京都, 北大路書房 (1998)
- [24] 大森,村澤,相澤,小山,栗田,岡元,吉田,上條: 食品開発に向けたセンサシートによる嚥下筋活動の非侵襲的計測; 第 17 回日本感性工学会大会査読セッション. B41, (2015)
- [25] 大森,村澤,相澤,小山,栗田,岡元,吉田,上條: 嚥下筋活動のセンシングと嚥下補助食品への応用に関する研究(第 2 報); 長野県工技センター研報. No.11, (2016) (投稿中)
- [26] 神山: テクスチャー解析によるおいしさの評価; 化学と生物; Vol. 47, No.2, pp.p.133-137 (2009)