

## [研究助成 (C)]

## “嚥下の定量化” に挑む

—— 工学技術を用いた摂食・嚥下機能の定量的評価手法の開発 ——

Quantitative evaluation of swallowing function by Engineering technology

2197009



研究代表者

埼玉大学大学院 理工学研究科 博士後期課程

田代 尚千恵

## [研究の目的]

近年、摂食嚥下障害（食べる機能の低下）により、誤って唾液や食べ物が肺に入ること（誤嚥）で引き起こされる誤嚥性肺炎による高齢者の死亡率が増加している。そのため臨床現場では、摂食嚥下リハビリテーションへのニーズが高まっている。しかし、摂食嚥下は様々な認知・運動要素が連続的、あるいは同時進行で行われる複雑な運動であるため、未だ十分なメカニズム解明には至っておらず、効果的な治療法が確立されていない。さらに臨床現場で用いる摂食嚥下機能の評価方法には、定性的な評価が存在し、データの解釈が評価者によって異なるという問題点がある。

そこで本研究では、近年、発生機序や音響的特性が解明されつつある“嚥下音”に着目し、超音波領域を含めた広帯域の音を計測できるエレクトレットコンデンサセンサ（ECS）を用いて嚥下音の定量的計測に対する有効性の確認を行った。

## [研究の内容、成果]

## 研究概要

現在、臨床現場で行われる嚥下機能の評価方法としては、嚥下造影検査（VF）や嚥下内視鏡検査（VE）がある。これは嚥下運動をリアルタイムで視覚的に評価できる利点があるが、

放射線や内視鏡といった高価な機材が必要であり、侵襲的であるという欠点がある。また非侵襲的な評価方法には、エレクトログロトグラフ（EGG）や筋電図検査（EMG）などがあるが、これらは定性的な評価方法であり、同じ患者であっても評価者によって評価結果が異なるという問題点がある。

このような状況から摂食嚥下研究において、嚥下機能の定量的評価手法の開発研究が盛んに行われている。その中でも特に嚥下運動時に発生する“嚥下音”は非侵襲的に計測できることから、その発生機序や音響的特徴、計測機器の開発研究が推進されている<sup>[1,2]</sup>。しかし先行研究では、健常者の正常な嚥下音（正常音）が対象であり、ヒトの可聴帯域（20 Hz-20 KHz）で解析されることがほとんどである。そのため4 KHz程度の周波数までで議論されていることが多い<sup>[3,4]</sup>。しかし嚥下音には、正常音だけではなく喉頭侵入（唾液や食物が気管に入ること）や誤嚥時に発生する「異常音」も存在する。この異常音には正常音の成分には無い、高周波数成分が含まれている可能性があるが、この異常音に焦点を当て検証した先行研究はない。そのため嚥下音の解析周波数を高周波領域まで広げることで、嚥下機能を定量的に評価する新たな指標を見出せる可能性がある。しかし現在のマイクロフォンでは超音波領域の音の計測は困難である。

以上のことから、本研究では摂食嚥下機能の

定量的評価手法の開発に向け、エレクトレットコンデンサセンサ（ECS）を用いた嚙下音の計測実験を行い、既存の計測方法と比較することで嚙下音の定量的計測に対する有効性の確認を行った。

### 実験装置

ECSとはエレクトレットコンデンサマイク（ECM）の構造を改良したセンサである。図1にECM（a）とECS（b）の概念図を示す。従来単一の空気ギャップであった部分に高分子フィルムを蓄層することで、微視的な空気ギャップ層を作り、高電界による絶縁破壊を防ぎ、よりわずかな振動版の変位でも従来と同程度の出力が得られるようになる。つまり、従来のECMと比べ、ECSは耐久性に優れ、超音波領域の測定ができる広帯域センサである<sup>[5,6,7]</sup>。

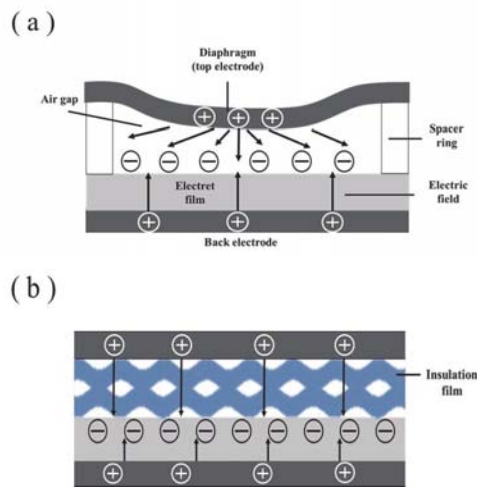


図1

次に本研究で用いたECSの外観（a）と構造図（b）を図2に示す。作製したECSの受感部は8×8mmであり、ECSから得られた信号はアンプにより増幅して使用する。アンプの感度を変化させることにより超音波領域までの音の計測が可能となる。しかし本研究ではEGGおよびECMとの比較を行うため、周波数特性を30 Hz-8 kHz、増幅率を65 dBとした。

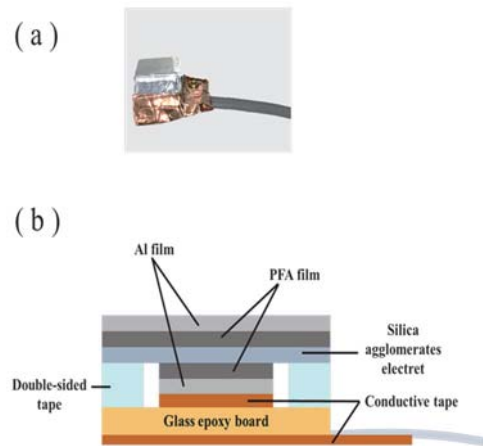


図2

### 実験参加者

嚙下障害の既往歴がない健常成人女性1名を対象に実験を行った。なお、実験開始前に実験参加者からはインフォームドコンセントを得ている。

### 実験方法

図3に嚙下音計測実験の様子を示す。本研究では、図3に示すようにECSのほかに、従来の嚙下機能評価で用いられているエレクトログロトグラフ（EGG-800, Laryngograph）とECM（Stage Line, ECM-500/SK）を使用し、嚙下時の声帯の開閉運動による電氣的インピー

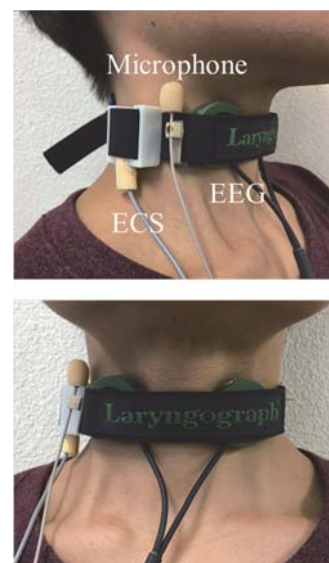


図3

ダンスの変化および嚥下音を計測し、これらの計測データと比較検討を行った。

ECSは3Dプリンタで作製した治具をゴム製バンドに取り付け、その内部に皮膚と接触しないように固定した。また実験装置の装着位置は、EGGの電極は左右甲状軟骨外側の皮膚面にバンドで固定し、ECSとECMは先行研究<sup>[8]</sup>から嚥下音計測に適切とされる位置に固定した。

実験参加者は椅子に90度の姿勢で座り、実験課題としてコップに入った水10mlを自己摂取にて嚥下した。これを1試行とし、再現性を考慮して、この試行を5回繰り返し行い、約5秒間の嚥下状態を計測した。

#### 計測結果と考察

図4に実験データの一例を示す。まず図4より、EGGの変化とともに嚥下音が周期的に現れていることが確認できる。さらに図5と比較すると、ECSで計測された嚥下音とECMで計測された嚥下音が時間的に一致していることが確認できる。

次に、ECMとECSで計測された嚥下音の5

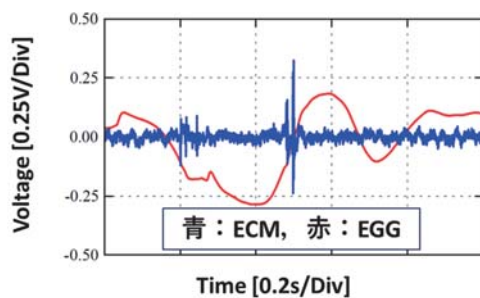


図4

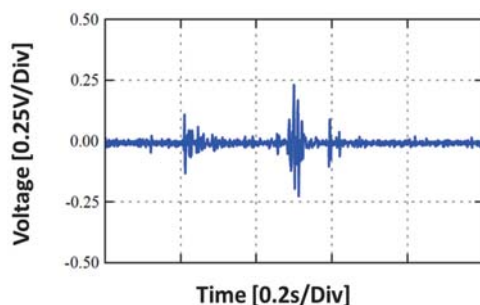


図5

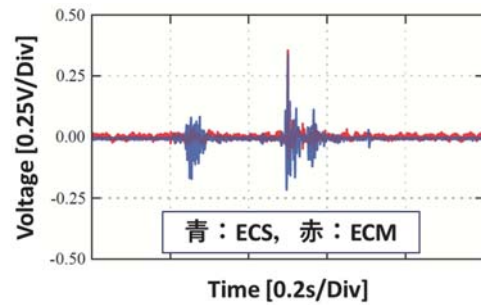


図6

回の計測平均波形を図6に示す。先行研究より、嚥下音の特徴として、最初の音から約0.5秒の間に3つの音の波形（第I音、第II音、第III音）が観測されることが報告されている<sup>[9]</sup>。本研究でも第I音から第III音の観測ができた。しかし図4、6に示すように、ECMを用いた計測では、第III音の観測が不十分である。一方、図5、6に示すように、ECSを用いた計測では、第I音から第III音まで十分に観測することが分かった。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究ではECSを用いて嚥下音の定量的計測に対する有効性の確認を行った。実験結果からECSによる嚥下音の計測が可能であり、さらにECMでは検出が不十分であった第III音の検出も十分に可能であることが分かった。今後は多くの実験参加者を募り、更なるデータの計測と分析を行っていく。特に分析については、嚥下音の音響特性である周波数や持続時間についても比較検討し、新しい摂食嚥下機能の定量的評価手法の開発に繋げていきたい。

#### [成果の発表, 論文等]

##### 参考文献

- [1] Dudik, M., J., Coyle, L., and Sejdić, E., J., Dysphagia Screening: Contributions of Cervical Auscultation Signals and Modern Signal-Processing Techniqueagnostics, IEEE Trans Hum Mach Syst, 2015 August; 45(4): 465-477.
- [2] Jayatilake, D., Ueno, T., Teramoto, Y., Nakai, K.,

- Hidaka, K., Ayuzawa, S., Eguchi, K., Matsumura, A., and Suzuki, K., Smartphone-Based Real-time Assessment of Swallowing Ability From the Swallowing Sound, *IEEE journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 2015, Nov 25. DOI: 10.1109/JTEHM.2015.2500562.
- [3] Cichero, J., A., and Murdoch, B., E., Acoustic signature of the normal swallow: characterization by age, gender, and bolus volume. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2002; 111(7 Pt 1): 623-32.
- [4] Morinière, S., Boiron, M., Alison, D., Makris, P., and Beutter, P., Origin of the Sound Components During Pharyngeal Swallowing in Normal Subjects, *Dysphagia* (2008) 23: 267-273.
- [5] 蔭山健介, 長島秀明: PFA フィルムを積層したエレクトレットコンデンサマイクロホンの作成と特性評価, 電気学会論文誌 E, Vol. 132 (2012), pp. 10-15.
- [6] 小野寺将, 蔭山健介: フィルム積層エレクトレットセンサを用いたデュアルセンサの製作と特性評価, 日本実験力学会誌, Vol. 15 (2015), pp. 64-68.
- [7] 蔭山健介, 魯子暁, 菅原拓也, 坂建宣: 樹木のアコースティック・エミッション測定を目的としたエレクトレットセンサの製作と特性評価, 実験力学, Vol. 16, No. 4 (2017), p. 295-300.
- [8] Takahashi, K., Groher, E., M., and Michi, K., Methodology for Detecting Swallowing Sounds, *Dysphagia*, 9: 54-62 (1994).
- [9] Tanaka, N., Nohara, K., Okuno, K., Kotani, Y., Okazaki, H., Matsumura, M., and Sakai, T., "Development of a swallowing frequency meter using a laryngeal microphone", *Journal of Oral Rehabilitation*, vol. 39, pp. 411-420, 2012.