

研究概要報告書

(1 / 3)

研究題目	声帯自励振動のメカニズムの解明とそれに基づいた新しい声帯物性検査法の開発	報告書作成者	出口真次
研究従事者	出口真次		
研究目的	<p>本研究の目的は大きく分けて二つある。一つ目は、これまでに我々が行ってきた声帯自励振動の発生メカニズムに関する基礎研究をさらに発展させて、声帯が自励振動を開始する、あるいは停止する力学的条件を明らかにすることである。ここで、声帯の振動とは母音発声の音源を成し、肺からの呼気流と声帯組織変形との相互作用の結果生じる複雑な力学現象である。また二つ目の目的は、上記基礎研究で得られた知見を基に声帯自励振動の解析アルゴリズムを開発し、我々が以前に提案してその有効性を検討している最中の新しい声帯物性検査システムに組み込むことである。そして、この声帯検査システムの有効性と性能に関する評価実験を実施し、臨床応用への可能性を詳細に検討することを予定している。ここで従来、喉頭疾患に由来すると考えられる声帯の物性変化を検査する際、麻酔下で鉗子触診が行われており、従って声帯物性検査は患者にとって、また検査者にとっても非常に負担であった。麻酔を施す理由は、声帯が異物に触れると喉頭反応と呼ばれる嗚咽反応を示してしまうからである。従って、声帯振動から発せられる音の変化を利用して非接触で声帯検査を行うことができる本方法の開発は大変有用であると期待される。</p>		

研究内容	<p>以下の項目について研究を行う。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 研究目的欄で述べた最初の課題では、これまで独自製作してきた声帯機械モデルを用いた実験を行う。声帯振動と同様の高振動数 (100Hz 以上) を発生することが可能な柔らかいゴム膜が、空気流と連成して自励振動を開始し、最終的に流量の低下に伴い振動が停止するまでの全過程における、(i)ゴム膜変形量、(ii)空気圧力、(iii)流量を同時に計測し、これらの相互関係を明らかにする。・ 上記課題で得た実験結果に基づき、声帯を模擬したゴム膜運動と、空気流とをそれぞれモデル化して「自励振動の条件」を解析的に導出する。また、そのような解析を可能とするアルゴリズムを詳細に検討する。ここで「自励振動の条件」とは、主として、どのようなメカニズムに基づき、またどの程度の流量や肺圧において声帯が振動を始めたり停止したりするか、その「しきい」となる条件のことを指す。・ 声帯物性検査システムにおいて基本となる考え方は、あるコントロールされた値の空気圧を、振動中の声帯に与え、その際の声帯の応答を調べることにより声帯の硬さなど力学特性を得ることである。空気圧を与える方法は、披験者がマウスピースをくわえて発声を行い、マウスピース内の回転弁を閉じて口腔内圧を上昇させることにより可能である。また、声帯の応答とはマウスピース内の圧力センサより得られる音の基本振動数と振幅の変化を指す。この検査システムを実現するための装置を試作・改良し、性能評価試験を実施して、有効性を検討する。
------	--

研究概要報告書

(3 / 3)

<p>研究のポイント</p>	<p>本研究では大きく分けて2つ取り組む課題があった。一つは実験的および解析的に声帯の自励振動のメカニズムを明らかにすることであり、基礎的な研究内容であると言える。もう一つは応用的(装置開発)な内容であり、声帯の物性を非接触的方法により評価することが可能な新しい方法の開発を行うことである。前者の課題は、声帯の自励振動というクラシカルな研究課題ではあるが、解明が難しい力学現象に新規な視点で取り組む。具体的にはオリジナルな非定常流体モデルを用いて、自励振動が発生、停止するメカニズムを数式により説明し、かつその理論を実験でもって実証する。また、物性検査方法の開発においては、空気圧の外部負荷に起因する声帯振動状態の変化を、前記の自励振動メカニズムに関する基礎研究に基づいて解釈する。つまり、二つの課題は独立したものではなく、基礎研究は応用研究に組み込む上で不可欠であり、重要である。</p>
<p>研究結果</p>	<p>自励振動の発生メカニズムに関する実験的研究では、声帯を模擬した機械モデルにおいて、声帯内張力の大きさに依存した少なくとも3つの異なる振動発生メカニズムが存在することを明らかにした。従来は、2つ存在すると考えられていた(地声と裏声に相当)。今回初めて明らかにされたと考えられるもう一つの発生メカニズムにおいては、裏声と地声時に見られる振る舞いを混合したような、いわば非線形的現象が観察された。理論的研究では、非線形流体力学モデルを用いて、特に、従来十分に考慮されていない裏声の発生メカニズムについて説明を与えた。これらの内容については、近日中に論文としてまとめる予定である。また、声帯の物性検査装置を作製し、男女数名について有効性評価・性能評価試験を行った。特に、本測定においてキーポイントとなる音声基本振動数の自動抽出を可能とするアルゴリズムを検討した。測定の結果、正常発声者の特徴と言える一貫した傾向を、再現性よく得ることができた。本内容は、耳鼻咽喉系の国際雑誌に投稿中である。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>本実験によって、非線形的な自励振動発生メカニズムが存在することを初めて示した。我々が検討した理論モデルでは、線形系しか扱っておらず、この現象の物理を説明するためには、非線形性を考慮した解析を行う必要があり、それは今後の課題である。また、各発生メカニズムがと実際の発声に関連づけることも検討している。例えば、裏声ではなく、地声の範囲内においても、音声学の分野においては硬音と軟音が区別されており、これらの違いに着目している。また、物性検査装置においては、声量の小さい被験者については、測定に十分と言える感度が得られないことが確認された。そこで、いかなる声量の場合にでも、測定が可能な装置機構を考え、新たな測定を実施・検討している。これにより、臨床でも使用可能な、より信頼性が高い、かつ分解能が十分な新しい医療機器が提供したいと考えている。</p>

<声帯物性検査システムについて>

声帯力学特性評価用装置により得られた結果の一例を図1に示す。図2は本方法のフローチャートを示す。

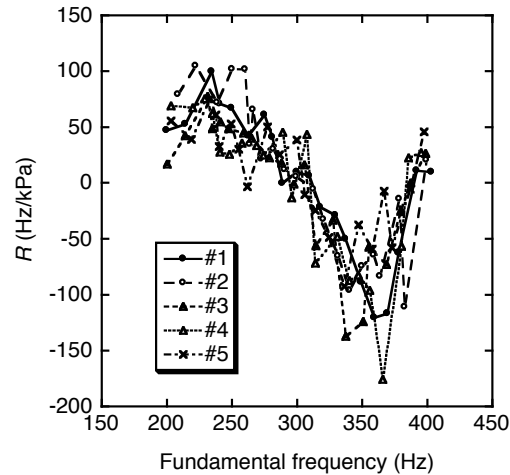


図1 左グラフ：
縦軸は声帯の硬さに関係するパラメータ（絶対値が大きい場合に、声帯が柔らかいことを示す）。横軸は声の高さ。この関係はV字の傾向を示した。

図2 右フローチャート：
実施方法の説明

1. 被験者がマウスピースをくわえてスピーカから流れる音（基本振動数 F_1 ）に合わせ発声
2. マウスピース内弁がくるくる回転する。弁が閉じた時、流路抵抗増加のため口腔内圧上昇
3. 口腔内圧の上昇のため、声帯に作用する圧力も上昇（圧力上昇 P ）
4. 声帯に作用する圧力が変化するため、声帯と呼気流との相互作用が変化
5. 従って、声帯振動の様相が変化、すなわち音が変わる
6. この音（基本振動数 F_2 ）の変化を圧力センサにより検出
7. F_2 は F_1 の近傍にあるため、FFT解析を利用した解析プログラムによって再現性よく正確に F_2 の値をリアルタイムで得ることができる
8. 基本振動数 F_2 の変化と、圧力上昇 P の変化の比 R を調べ、同様に様々な声の高さについて調べてプロットする（図1）
9. 比 R は、声帯がどの程度空気圧変化の影響を受けやすいかを示す定量的指標となる。すなわち、柔らかい声帯では空気圧の影響を受けて大きな値が得られるのに対して、硬い声帯では影響は小さく、小さい R 値が得られる
10. 声帯疾患時（反回神経麻痺、声帯結節、ポリープ、癌など）には声帯の力学特性が変化することが知られており、本システムで得られる R と密接な関連があると考えられる
11. 全測定に要する時間は、2、3分程度と短時間であり、麻酔を伴わない簡易な測定であり、臨床医療に応用が可能であると考えられる
12. 回転弁が閉じて声帯振動が止まる時の変化を調べ、声を出すための条件を得ることも可能

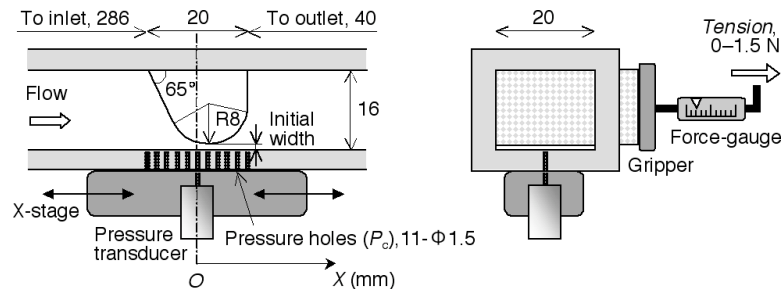


図3(上) 声帯機械モデルの一部（左、横断面図：右、縦断面図）

一対の声帯のうち、片側をシリコーンゴム膜で近似。空気流との連成により自励振動を起こし、その際の物理量を計測。特に、スライドにより位置を移動される圧力センサによって、ゴム膜に沿った圧力分布を詳細に調べることができる実験装置を自作・改良し（図3）、自励振動現象のメカニズムを明らかにする。得られた知見を、図2の10、12項目における声帯振動開始・停止および声帯物性との関係を調べる際に利用する。

(注:フローチャート図,ブロック図,構成図,写真,データ表,グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)