

【目的】現在、COPD（慢性閉塞性肺疾患）が急激な増加傾向にあり、“取り残された生活習慣病”と言われている。一般に、慢性呼吸器疾患に対しては、スパイロメトリー、胸部単純 X 線、X 線 CT などの検査方法が用いられるが、いずれも末梢気道における呼吸量を直接的かつ定量的に明らかにすることは難しい。すなわち、現在、病変部位となる末梢気道での十分な工学的計測手法は確立しておらず、末梢気道は別名「サイレントゾーン」と呼ばれ、現代医学でも未解明の領域とされている。一方、生体内という限られた空間内にて、かつ低侵襲で生体情報を計測することを目的して、機械・電気システムの微小化が可能な MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術の医療への応用展開が 90 年代前半から着目されている。以上のような社会的背景から、本研究では生体内での極限計測を可能とする最先端の MEMS 技術を呼吸計測へと展開し、肺内部、すなわち病変部近傍での呼吸を定量的に計測評価できる「肺内部での局所的な総合的呼吸計測システム技術」の実現を目的とした。

【方法】医療用バスケット鉗子とチューブ状呼吸計測用流量センサとをタンデム実装し、バスケットの開閉を利用してセンサを気道内に位置決め固定し、気管支での呼吸計測を可能とするカテーテルセンサシステムを開発した。MEMS 技術を駆使することで、厚さ数 μm のパリレンフィルム上に熱線流速計として機能する金属製細線ヒータを形成し、これをフィルム転写技術にてチューブ外壁面に実装した。その後、フィルム周辺部と電氣的配線部を熱収縮チューブで固定しチューブ状呼吸計測用流量センサを作製した。なお、時々刻々流れの向きと流量が変化する呼吸計測に対応すべく、熱線流速計周辺部に熱絶縁構造を設け、熱式センサの応答性を向上させた。

【結果】バスケット鉗子一体型呼吸用流量センサの動作特性を評価し校正曲線（ $V^2 = 0.488 + 0.175 u^{0.81}$ ）を求めた。ただし、 V はヒータ駆動電圧、 u は管内平均流速である。なお、管内流量については上記校正曲線の式に管内断面積を乗ずることで求めた。また、ステップ状の流れに対する応答波形からセンサの応答が 60 ms であることを確認した。一般的にヒトの呼吸周期が 3.3 s、実験動物（ラビットの場合）のそれは 1.0~2.0 s であることから、これらの呼吸計測に対して本呼吸計測用センサが十分な時間的追従性を有していると判断した。そしてバスケット鉗子一体型呼吸用流量センサと細径光ファイバースコープとを一つのチューブ内にタンデム実装したカテーテルセンサシステムを構築しそれをラビットに適用した。具体的には、光ファイバースコープで得られた画像をもとにファイバースコープとチューブを肺内部の気道内へ挿入した後、気道が気管支に分岐する手間でバスケット鉗子一体型呼吸計測用流量センサをチューブから気道内へと取り出した。そしてバスケット鉗子を拡張しバスケット鉗子一体型呼吸用流量センサを気道内に固定し気道内でのその場呼吸を計測し、ラビットの生理値と同程度の呼吸周期 1.08 s を得ることができた。また上記カテーテルセンサシステム開発と並行して、その次なるステップ技術として、フレキシブル基板上での呼吸用流量センサと信号処理回路との一体化、ステント一体型呼吸用流量センサの二つの要素技術も併せて開発した。

カテーテルセンサシステムによるラビットの気道内におけるその場画像および流量計測

