

蚊の下唇を模擬したマイクロニードルの座屈防止用ガイドの設計



関西大学 高橋 智一

Tel 06-6368-1835

E-mail t.taka@kansai-u.ac.jp

研究背景

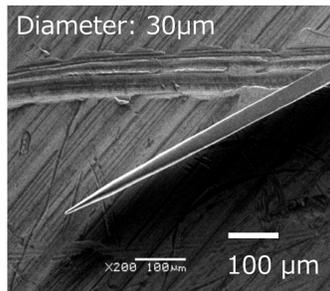
低侵襲マイクロニードルの開発と問題点

日に何度も採血が必要となる糖尿病患者にとって、注射針を刺すことは大きな苦痛が伴う。そのため穿刺の痛みが少ない注射針が求められている。

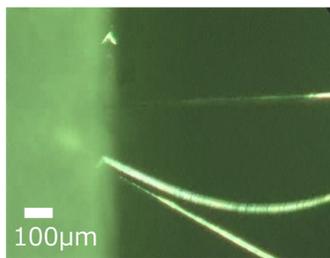
穿刺における痛みは人間の皮膚にある痛点を刺激することによる。痛点は250 μm ごとにあるとされている。したがって、痛みを避けるためには痛点間隔よりも細い針が必要となる。現在販売されているもっとも細い針の直径は180 μm (中空)、100 μm (中空)である。これらの針の幅は痛点の間隔より小さいが、痛点の間隔を刺すよう制御することは難しい。穿刺時に痛点を刺激する可能性を下げるには、さらなる細径化が必要となる。

本研究室では蚊に刺された痛みが気づかない程度であることから、蚊の穿刺機構、針の構造を模倣したマイクロニードルの開発を行っている。これまで蚊の針と同程度の直径をもつ針を作製してきたが、その直径は30 μm と非常に細い。それに対し、血管は皮膚の下1 mm程度にあるため、採血が可能なマイクロニードルのアスペクト比は大きい。このため、穿刺の荷重に耐えず座屈してしまう問題がある。

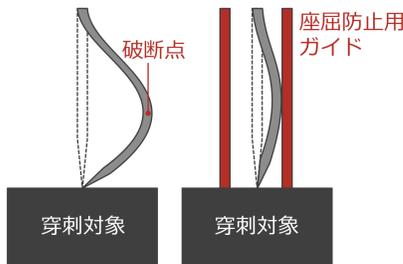
そこで本研究では、蚊が穿刺の役割を担う上唇と小顎を下唇により支持することを模倣し、座屈防止用ガイドを針の周囲に形成し座屈を抑える機構を提案する。これは接触を伴う現象であり、解析的な解を得にくい。有限要素法を用いて本ガイドにより針に生じる応力を小さくできるかを検証した。



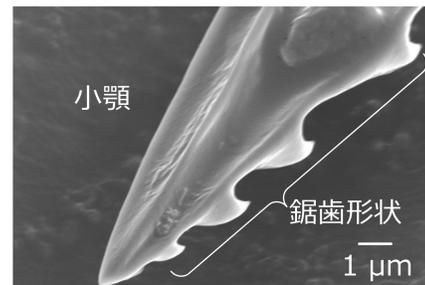
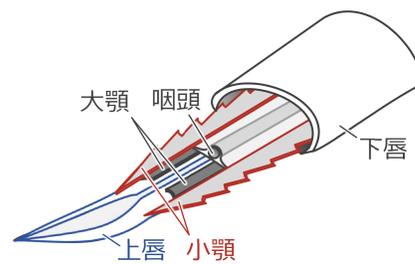
シリコン(Si)マイクロニードル



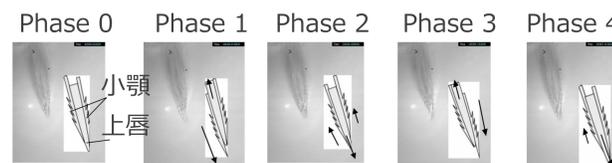
3本のSiマイクロニードルによる人工皮膚への穿刺と座屈現象



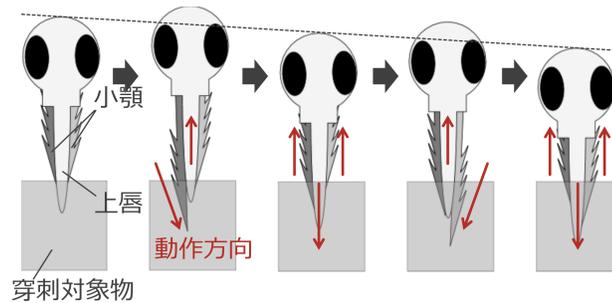
蚊の針の構造と穿刺機構



蚊の口針は単一ではなく、血液を吸引する上唇、唾液を吐出する咽頭、大顎(2本)、先端に鋸歯状の突起がある小顎(2本)の計6本の器官で構成される。さらに口針は鞘状の下唇によって包み込まれた構造となっている。



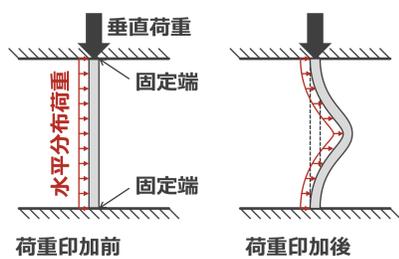
過去に高速度カメラと長作動距離拡大レンズを組み合わせたシステムを用いて、蚊の穿刺行動を詳細に観察した。これにより蚊は上唇、小顎および下唇を協調動作していることが明らかとなった。これを利用し穿刺力の軽減することができる。



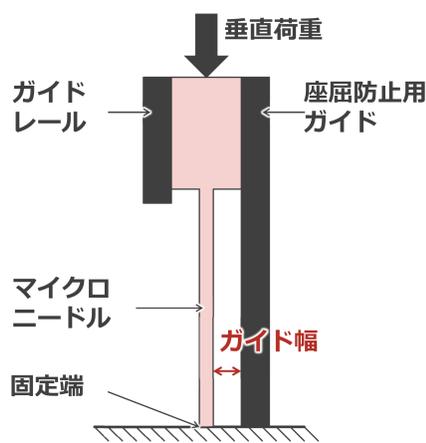
解析

モデル

本研究で扱うモデルは、針が皮膚にわずかに刺さった後に座屈が生じると仮定し、両端固定とする。すなわち、一端はホルダ、他端は皮膚に固定されている。このモデルでは接触を伴わない場合(ガイドがない場合)は解析的な解を求めることができるが、ガイドへの接触を伴う場合は解析的な解を求めることが困難である。このため有限要素法を用いて解析を行う。



針に圧縮荷重を加えただけでは座屈現象は再現できない。本研究では変形時の形状がほぼ同じであれば材料に生じる応力も同程度であることに注目し、圧縮荷重の他に針の側壁に分布荷重を加え、疑似的に座屈を生じさせた。



この方法を用い、座屈防止用ガイドと針の初期の距離を変化させながら、形状および応力を求め、座屈による破壊を防げるか検討した。座屈後の変形を解析するため、大変形解析および接触解析を行っている。

解析モデルは針、座屈防止用ガイド、穿刺針の上端を垂直にスライドさせるためのガイドレールの3つで構成されている。針と座屈防止用ガイドを上方で接触させて、針の傾きを防止して垂直方向のみにスライドさせている。このときの摩擦は無視する。また針の下端は穿刺対象物と接触し固定されているとする。

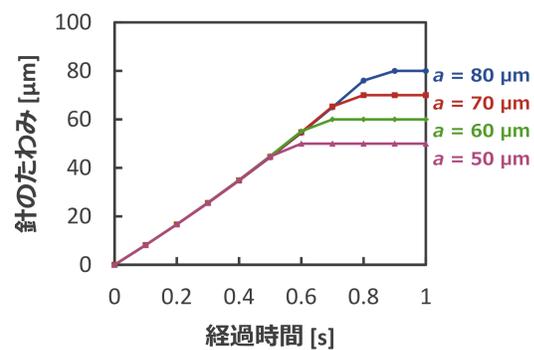
解析条件

材料	シリコン(Si)
ヤング率	E 131 GPa
密度	ρ 2329 kg/m ³
ポアソン比	ν 0.28
ガイド幅	a 50 ~ 80 μm
針	長さ l 3 mm
	幅 b 30 μm
	奥行 b 30 μm
垂直荷重	P_v 0.1 N
水平分布荷重	P_l 0.1 N

解析モデルの寸法および材料物性値を表1に示す。針は先端の尖っていないシリコン角柱とし、異方性による物性値の違いは無視している。座屈防止用ガイド、ガイドレールおよび穿刺対象物は剛体として扱っている。座屈防止用ガイドと針との距離を50 μm から80 μm まで10 μm ずつ変えて解析を行った。

針のたわみの時間変化

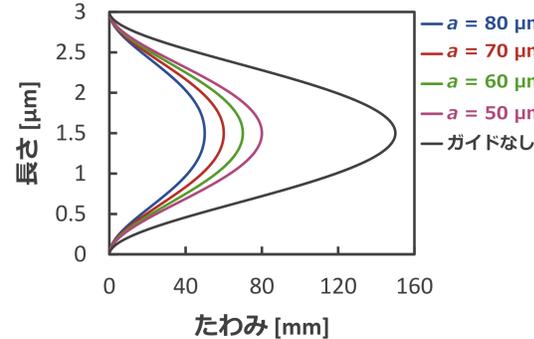
右図はマイクロニードルに荷重を加えたときのたわみを示している。座屈防止用ガイドがあることにより、たわみがガイドで抑えられていることがわかる。



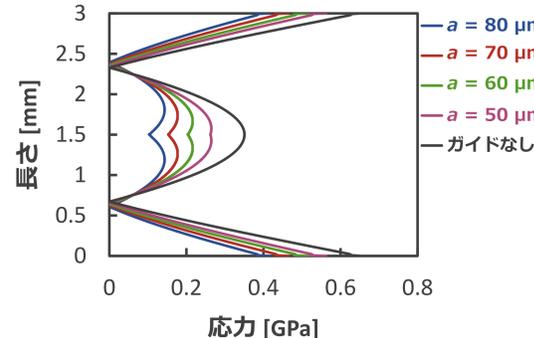
ただし接触後は計算量が多くなるため、解析時間が増える。今回は解がほぼ収束する、荷重を印加してから1秒後までを解析した。

1秒後の針のたわみと応力

1秒後の針のたわみを右図に示す。座屈防止用ガイドがないとき、たわみは150 μm となる。それに対しガイドがある場合、たわみはそれぞれのガイド幅と同程度、すなわち変形を抑えることができる。



同様に応力も抑えることができる。また針に生じる最大応力は固定端となる。シリコンの破壊応力は2~10 GPaであることから、座屈防止用ガイドがあることにより発生する応力は破壊応力よりも小さく抑えることができる。ガイドがない応力も破壊応力より小さいのは解析時間が短いことによる。荷重印加後から10秒経過するとガイドがない場合、最大応力は13 GPaとなる。



中央付近に発生する応力 (ガイド幅50 μm)

