

# 超音波を用いた生体刺激および 生細胞採取デバイス

東北大学 大学院医工学研究科 医工学専攻  
教授 芳賀 洋一

2026年1月22日

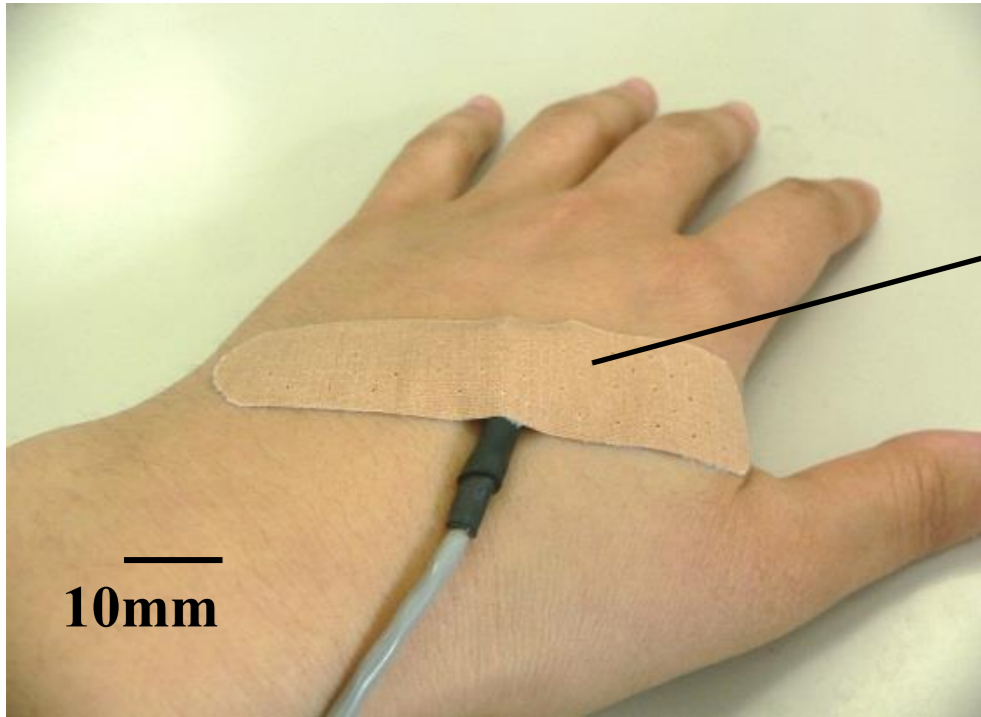
# 集束超音波を用いた経穴刺激装置

## 従来技術とその問題点

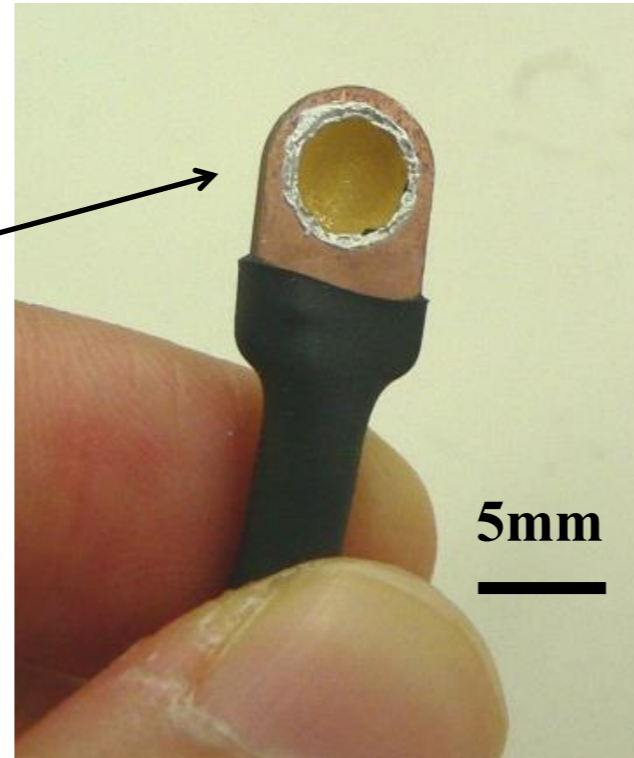
既に実用化され広く用いられているものに鍼灸針の刺入があるが、刺入に伴う恐怖心や皮膚侵害や感染の心配などがあり、施術は専門の鍼灸師に限られる。

経皮的経穴電気刺激や、効果を高めるためのレーザー鍼などがあるが、いずれも原理に伴う制約や効果が限定的であるなどの課題があり、広く利用されるまでには至っていない。

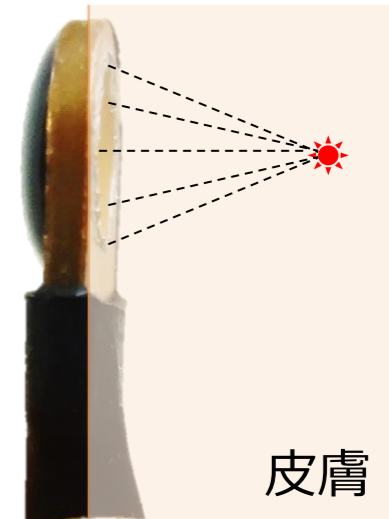
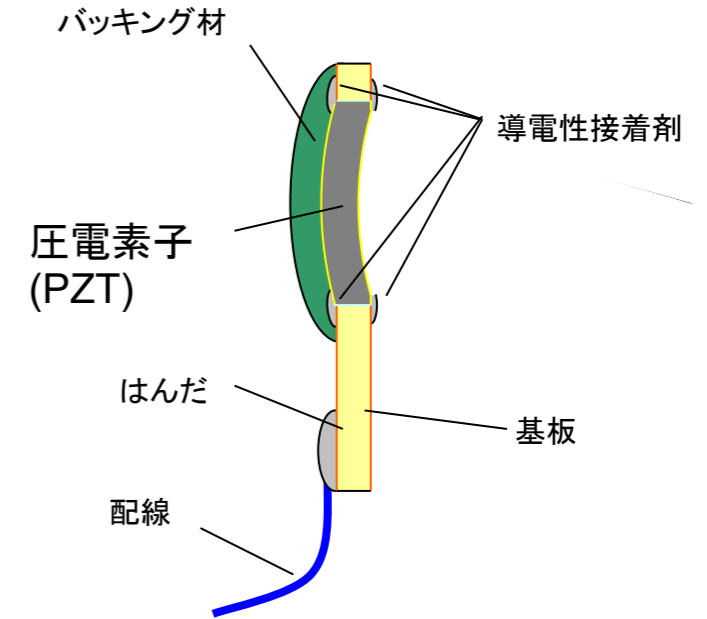
# 集束超音波を用いた経穴刺激の提案



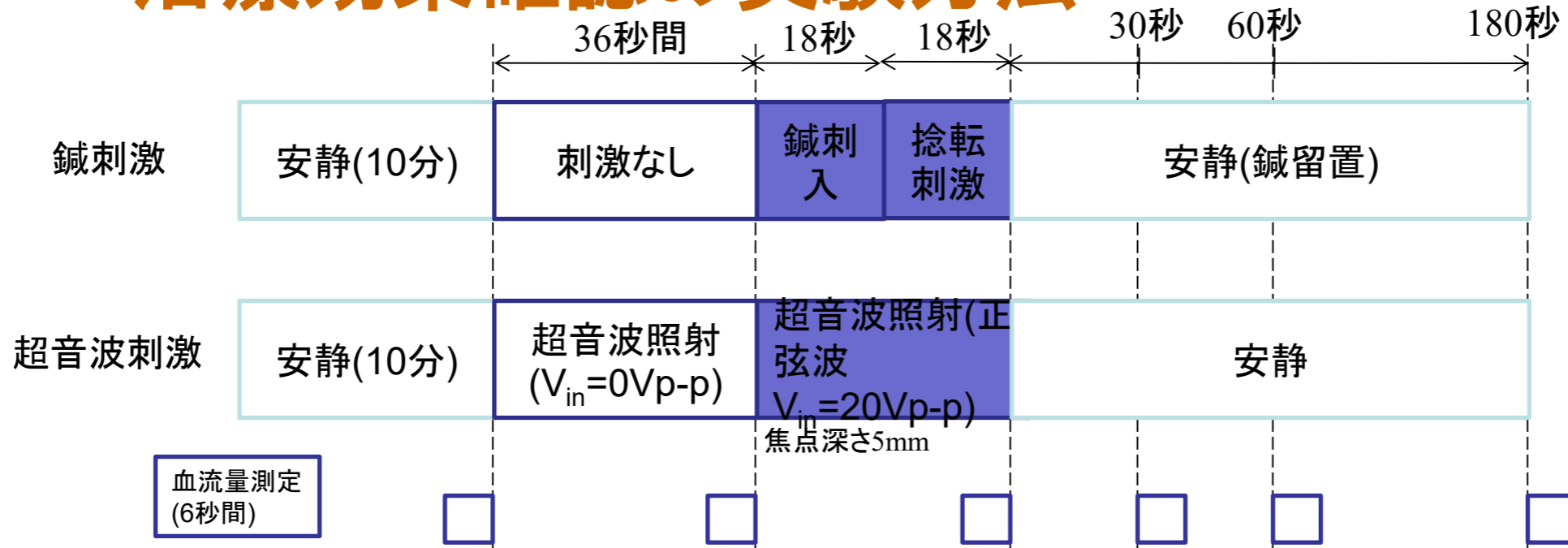
経穴上へのデバイス装着の様子



凹面圧電素子を用いた  
集束超音波発生部

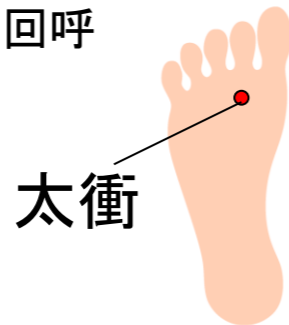


# 治療効果確認の実験方法

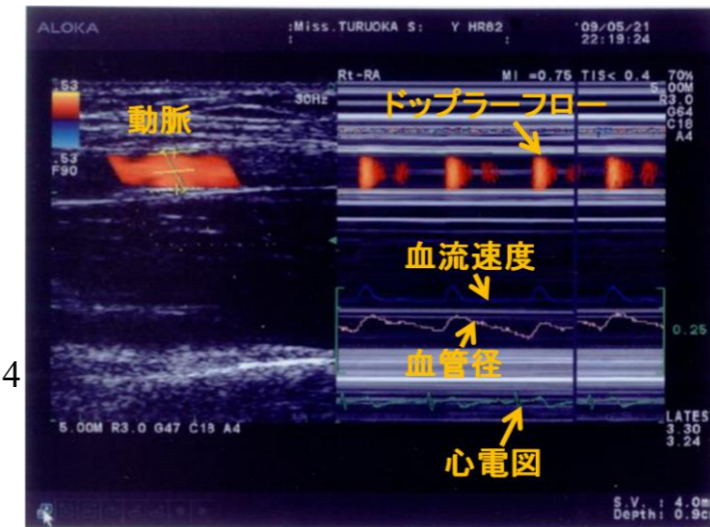


両足の太衝穴に刺激を与え、刺激前後の上腕動脈の血流量を測定

※実験中は6秒に1回呼吸統制を行う



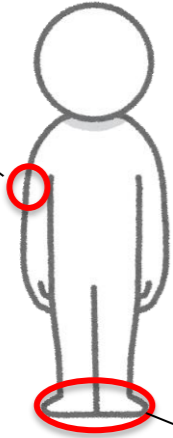
上腕動脈血流量測定



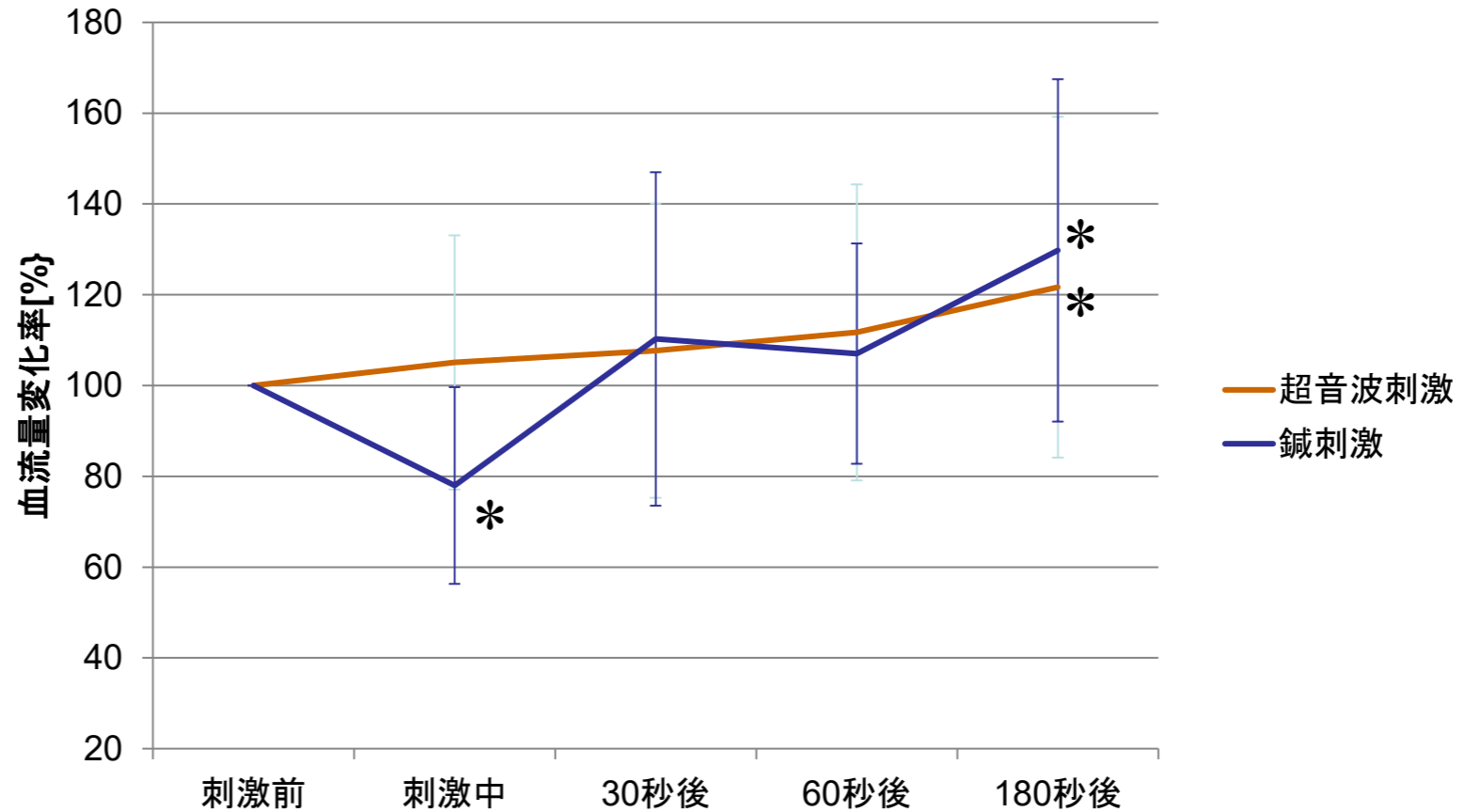
超音波エコー測定画面

# 治療効果確認実験結果

計測:  
上腕動脈血流量



刺激:  
集束超音波  
または  
針刺激



180秒後に有意水準5%以下で有意差が得られた  
被験者数: 鍼刺激25人 超音波刺激25人

# 凹面超音波振動子→使い捨てフレネルレンズ

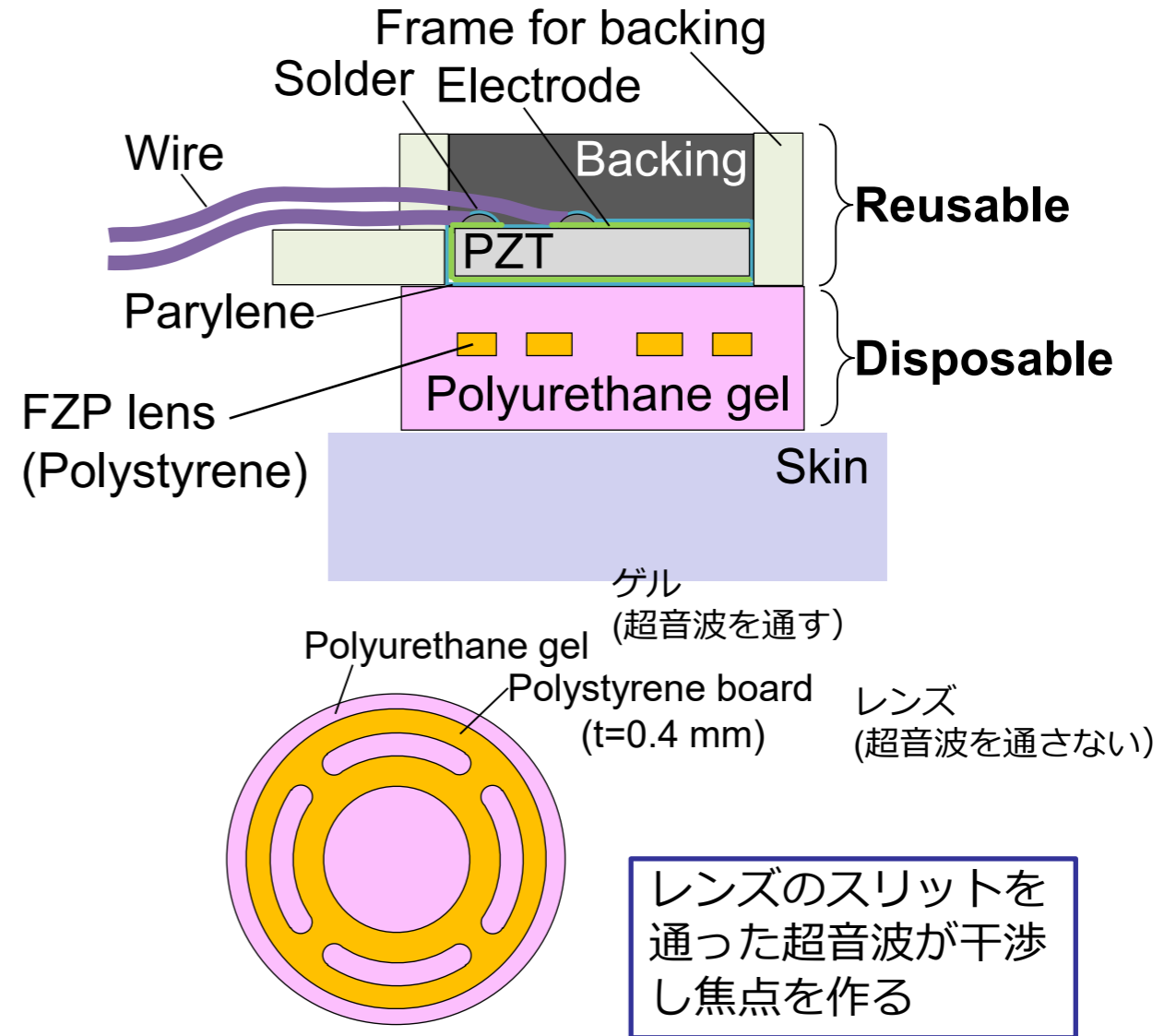
凹面超音波振動子は難加工性材料である圧電セラミック加工の手間により生産性が悪くコスト上昇につながる

## 使い捨てフレネルレンズ

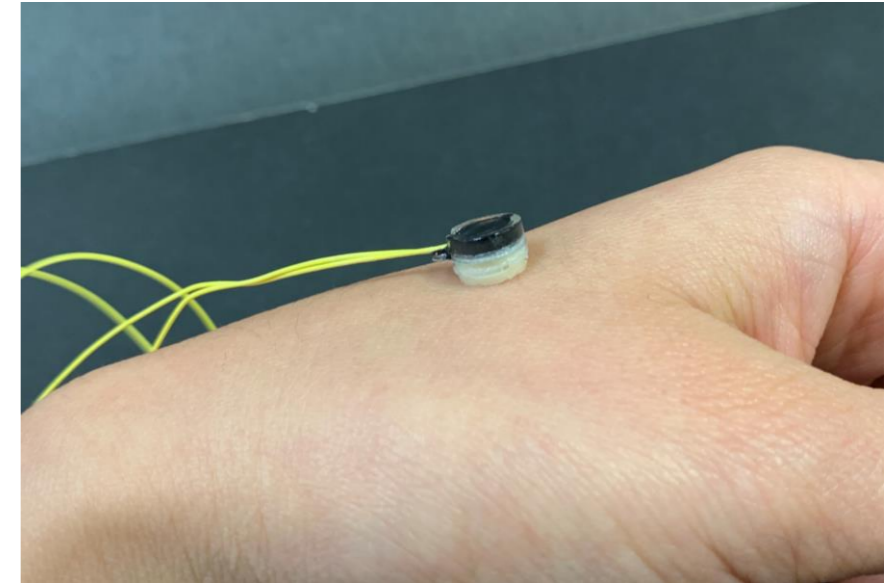
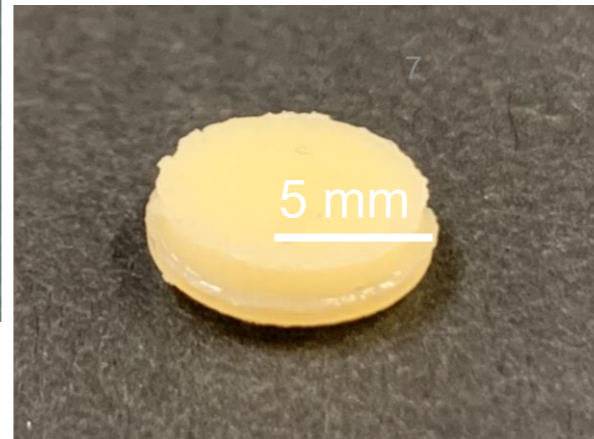
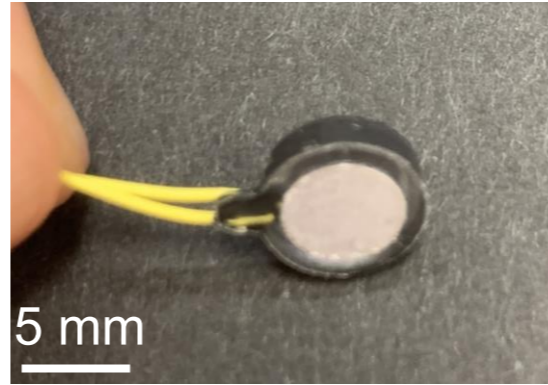
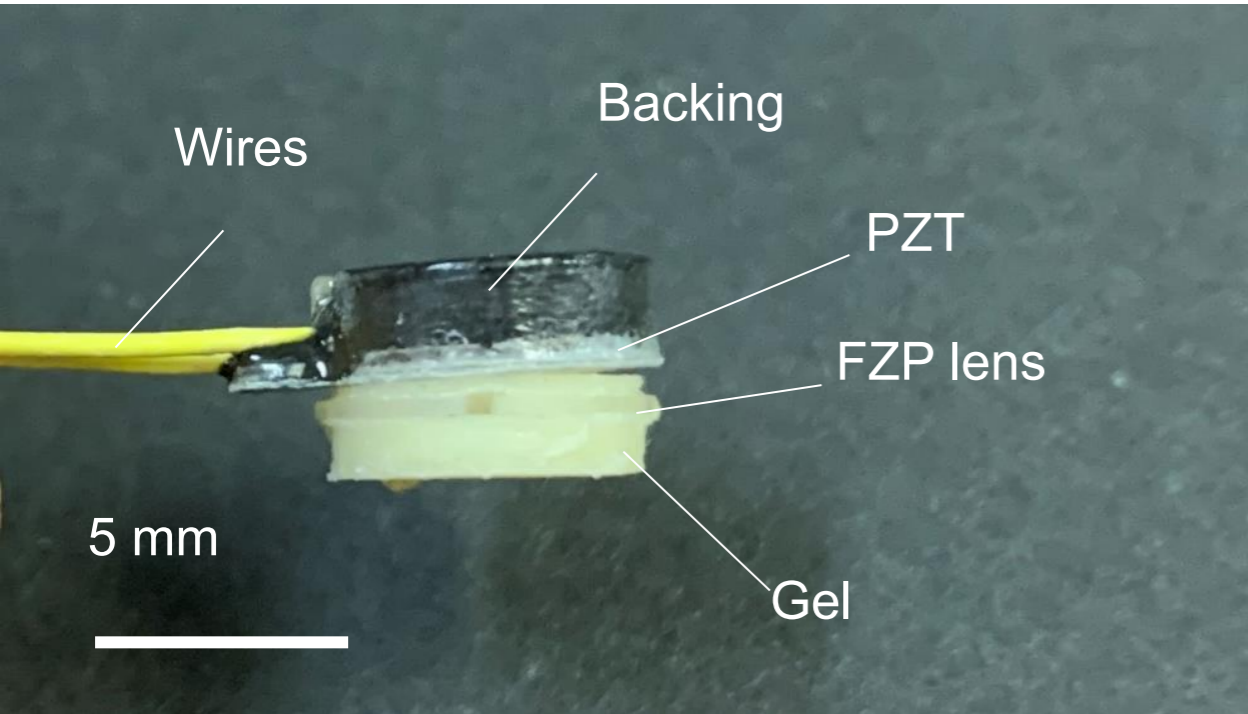
### Fresnel zone plate(FZP)の提案

- ・決まった周波数のみ集束
- ・平板のポリマーシート加工のため作製しやすく低コスト
- ・FZPレンズを埋め込んだゲルは使い捨て
- ・超音波発振子は再使用

ゲルの粘着性で超音波発振子と皮膚とを固定

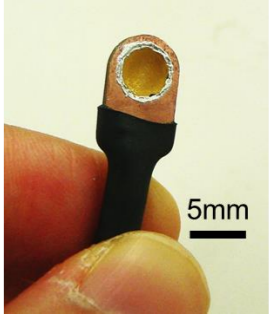


# 作製結果



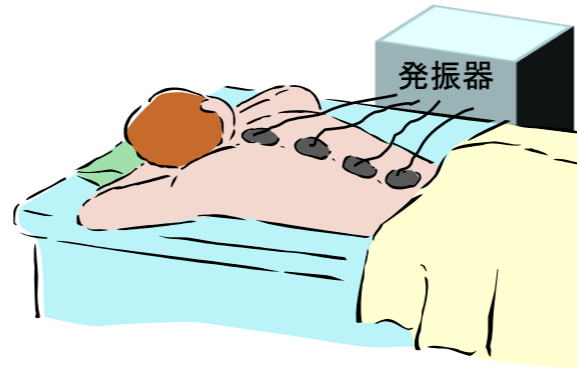
装着した様子

# 従来技術との比較

	鍼灸針の皮膚刺入	レーザー鍼	経皮的経穴電気刺激	集束超音波 
有用性	幅広い有用性	繰返し治療 骨格筋系の疼痛、 術後悪心等	腰痛などの疼痛緩和、 麻酔	1回の刺激 上腕動脈血流量改善
安全性	皮膚刺入に伴う侵害、 恐怖心や感染の危険性	直視による眼障害の危険性	埋め込み電子機器使用者は使用不可	比較的安全性が高いが温度制御が必要
実施機関	セイリン社など	LASERNEEDLE GmbH社 (ドイツ)	株式会社日本メディックスなど	

# 新技術の特徴、想定される用途

- 直径約6mmと装置が小さいため日常的に体に装着し  
必要な時だけ間欠的または持続的に刺激ができる
- 超音波を用いるため痛みを伴わない
- 皮膚の損傷がなく、感染の心配がない
- システムの小型化により冷え性や不定愁訴に対応する  
持ち運び可能な健康管理装置の提案
- 在宅医療や老人ホームにおける誤嚥性肺炎の予防



# 製品のイメージ

## 【具体的な市場(イメージ)】

鍼灸治療を行っている病院、鍼灸院等、一般コンシューマ向け

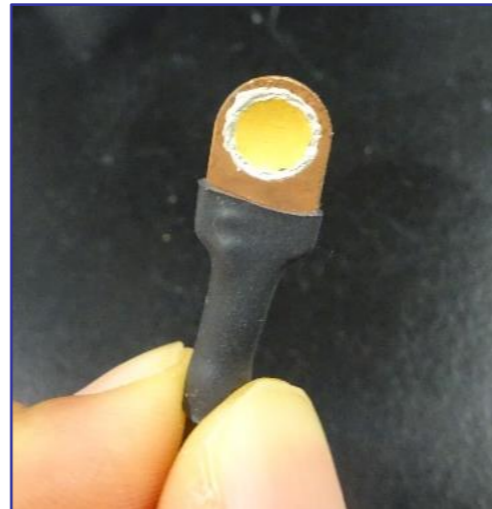
## 【想定販売価格】

一式30万円(4~6本の照射プローブ付き)程度。将来より低下価格化

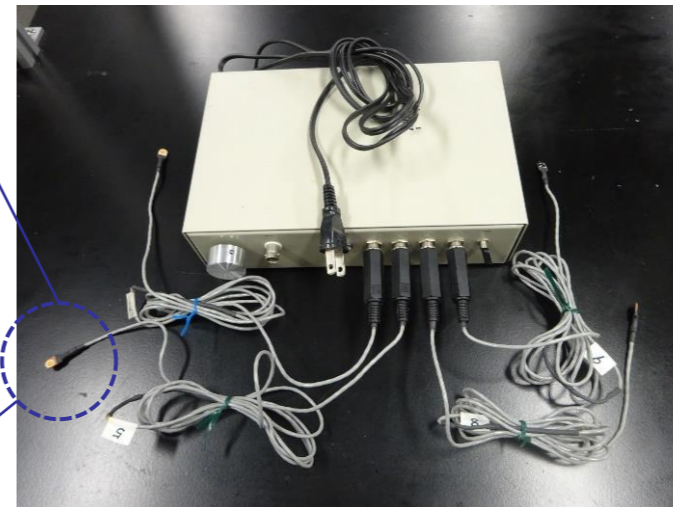
## 【主な参入企業】

- ・鍼灸用治療器を取り扱う企業
- ・物理療法機器を取り扱う企業
- ・一般コンシューマ向け製品

## 製品のイメージ



照射プローブ



システム一式

## 実用化に向けた課題

- 現在、装置の提供と評価が可能なところまで開発済み。しかし、どのようなカテゴリーのデバイスとして実用化していくかの点が未解決である。
- 今後、具体的な用途について実験データを取得し、条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、安全性と効果のバランスを向上できるように技術を確立する必要もあり。

# 社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・設計が完了	
現在	・装置と評価システムの試作と評価	
2年後	・具体的な用途における実証評価(複数用途同時進行)	デモンストレーション実施 :各種事業へ応募し研究資金獲得
5年後	・用途ごとのオプション仕様など選択肢を決定し、量産性を実現	サンプル提供が実現

## 企業への期待

- 未解決のどのようなカテゴリーのデバイスとして実用化するかについては、具体的な用途における有効性と安全性を示すことで克服できると考えている。
- 量産の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、テクノロジーによる東洋医学分野への展開と開拓を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

## 企業への貢献、PRポイント

- 本技術は今までにない健康管理が可能のため、具体的な市場開拓を提供することで、より企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 超音波ユニット、回折膨潤テープ、及び超音波集束装置
- 出願番号 : PCT/JP2023/ 13107  
国内基礎出願 : 特願2022-055687  
→ 国際公開番号 : WO2023/190834:US、CN、JPに移行済
- 出願人 : 国立大学法人東北大学
- 発明者 : 鶴岡典子、芳賀洋一、関 隆志

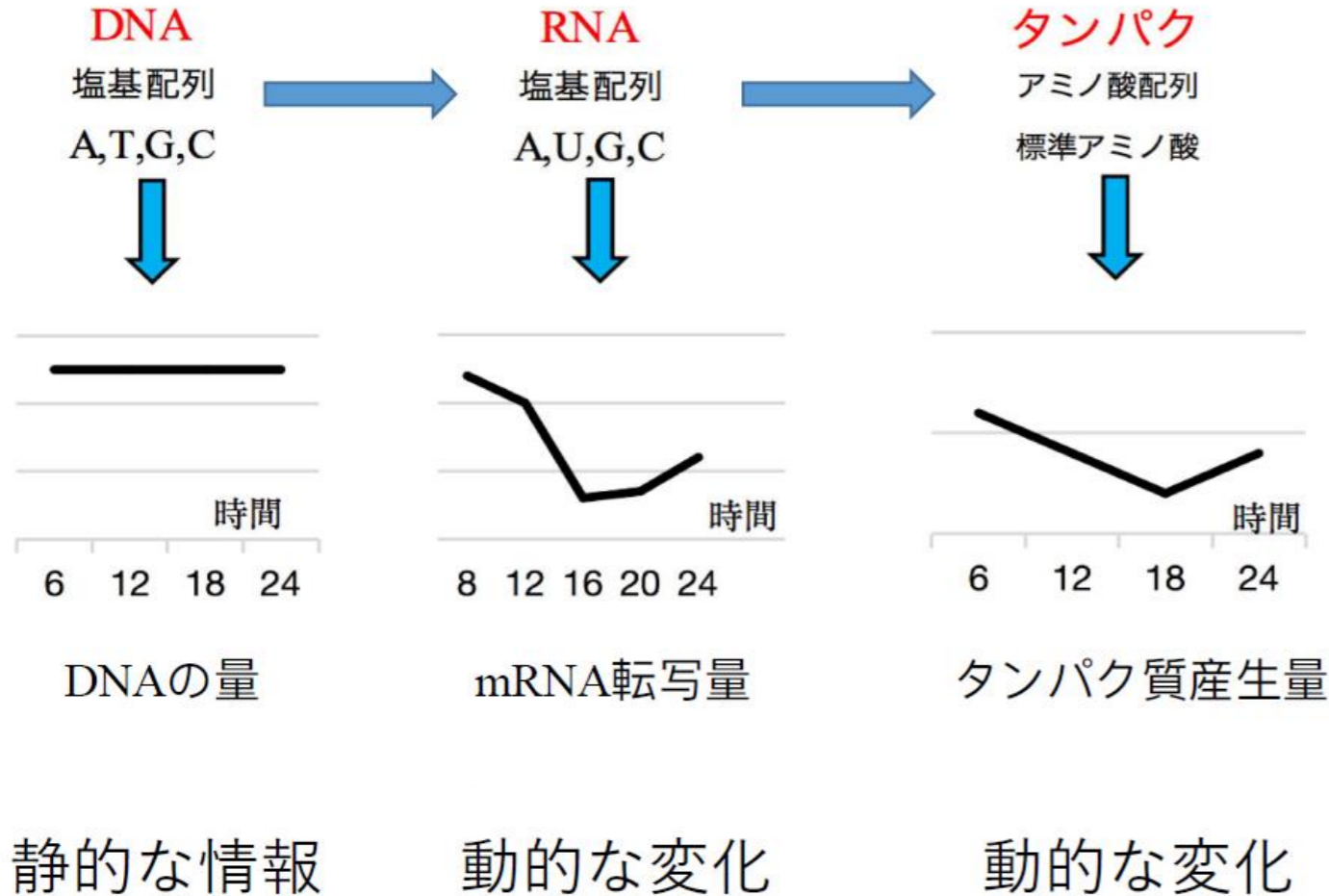
# 超音波を用いた生細胞採取デバイス

## 従来技術とその問題点

数時間ごとに生細胞を採取することで遺伝子のタンパク質発現(遺伝子からタンパク質が作られること)の時期や発現量を定量化することで今までにない新たな生体の状況把握が可能になり個人に合わせた適切なアドバイスや適切な投薬治療などが可能になる。

しかし、従来の生細胞採取の手段は病理診断が目的であり、侵襲性が高いため繰り返しの採取が難しい。毛母細胞の採取は必要な頭髪量が多く、口腔粘膜細胞採取は夾雑物が多くタンパク質発現の定量化には適していない。

# 数時間ごとの生細胞採取



数時間周期で生細胞を採取し、mRNAまたはタンパク質の産生量を計測し細胞活動の動的変化を定量的に把握する

投薬など働きかけに対する動的変化の違い、全身または臓器ごとの日内変動など動的変化の周期性を把握

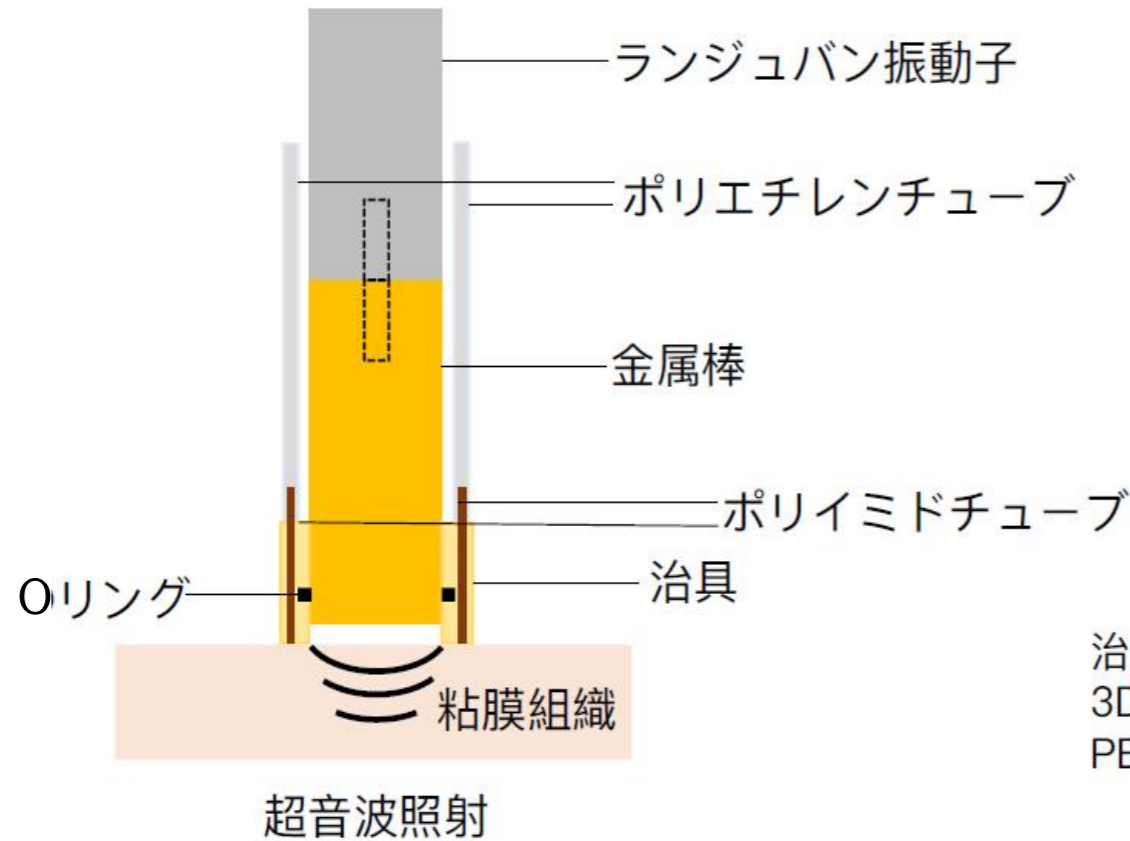
投薬など治療における適切なタイミングと投与量の最適化、未病の分析、糖尿病、がん、うつ病などの詳細な分析

# 従来技術との比較

細胞採取の手段	生検(バイオプシー) 生検針 生検鉗子 皮膚生検パンチ	細胞診ブラシによる 口腔粘膜採取	頭髪の 毛母細胞採取	本技術
目的	病理検査 (がんの診断など)	遺伝子検査 ゲノム解析 (DNAシーケンス)	タンパク質発現の 動的変化	タンパク質発 現の動的変化
侵襲性	高い 繰り返しの採取が困難	低い	やや高い 3時間ごとに20本 程度頭髪採取	低い 同じ箇所から も繰り返し採 取可能
タンパク質発現の 動的変化	侵襲性が高く難しい	夾雑物などにより 計測困難	可能	可能

1回における生細胞採取数は数100～数1000個が望ましい

# 粘膜用デバイスの原理と構造



金属棒  
黄銅を切削加工し  
て作製  
超音波を伝搬

治具  
3Dプリンタで作製  
PBSを流す流路を搭載

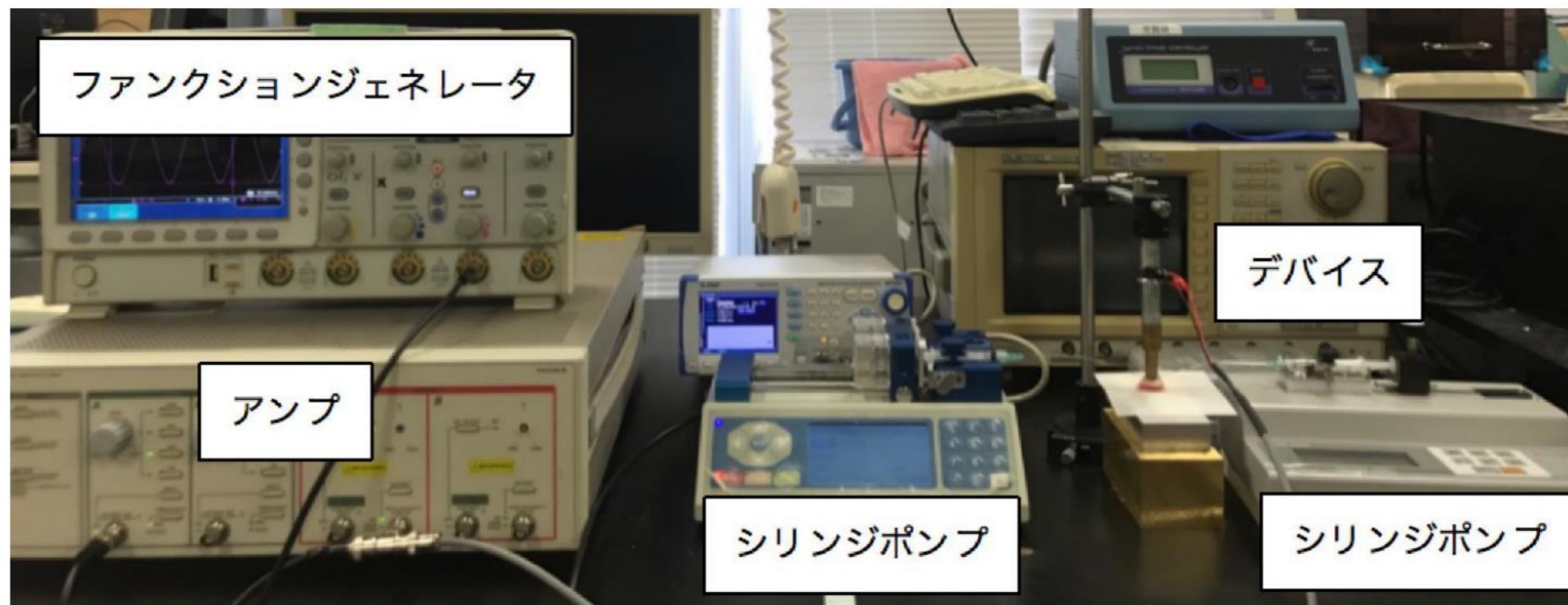


ランジュバン振動子  
本多電子株式会社製の  
HEC-1540P2BF  
共振周波数 40 kHz  
超音波を発生

ポリエチレンチューブ  
PBSを流す

ケラチン化していない有棘層が対象部位  
細胞のサイズは: 10  $\mu\text{m}$  - 40  $\mu\text{m}$

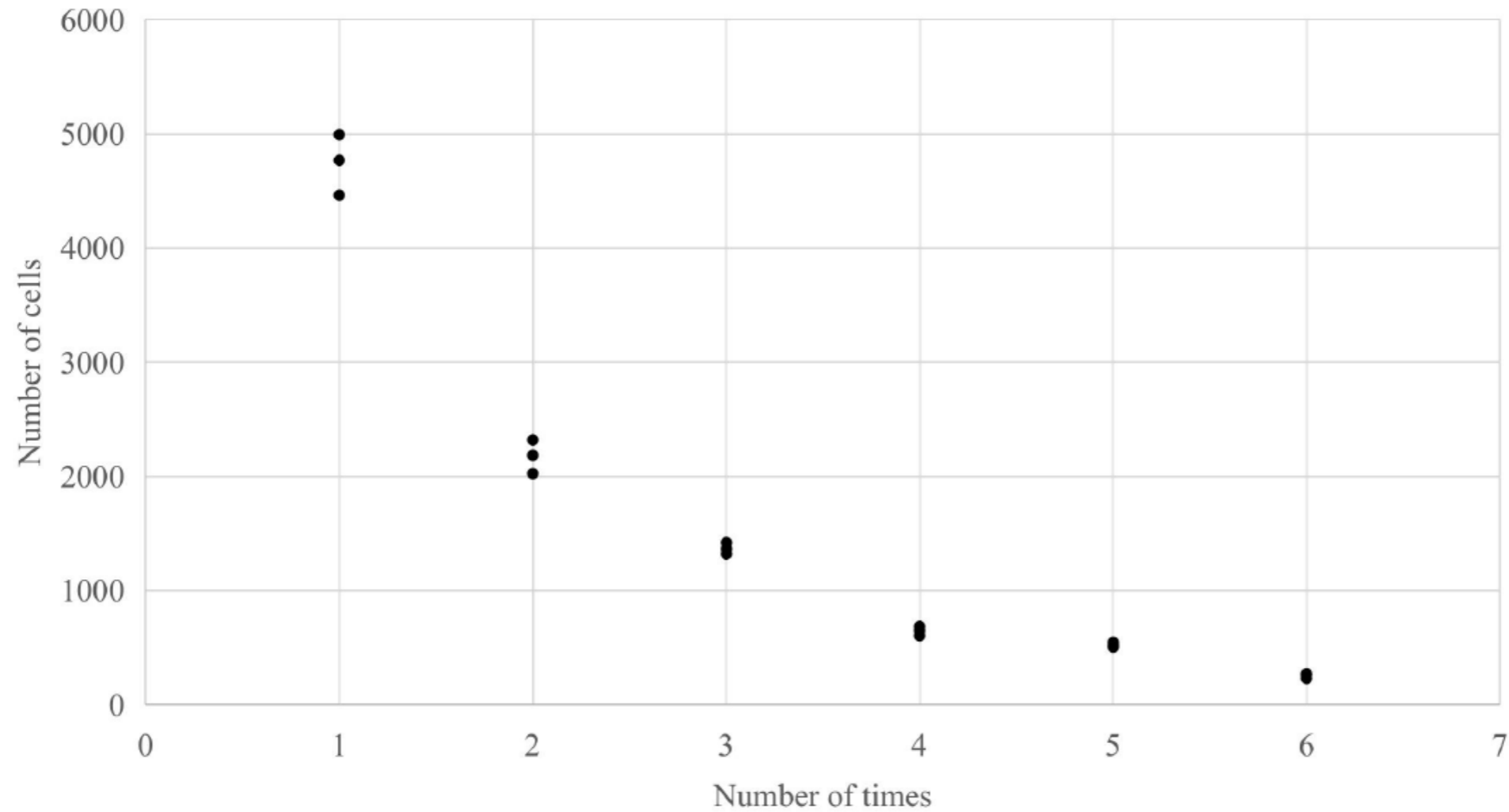
# ブタ摘出粘膜組織からの細胞採取実験



採取された細胞は蛍光顕微鏡で観察した。

電圧、周波数、緩衝液の流速、採取時間などを変化させて、最適な細胞採取条件を検討した。

# 同じ部位から数回採取の結果



6回目までは100個以上の細胞が採取された

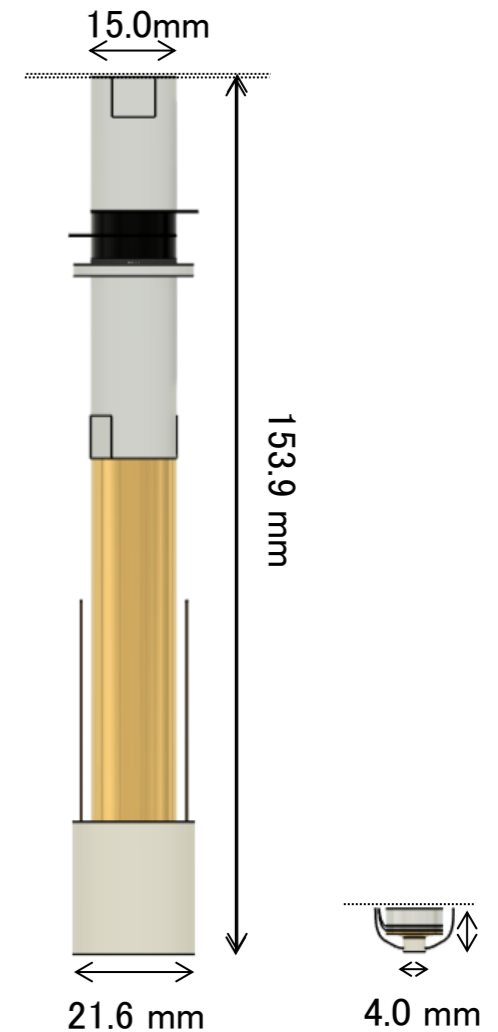
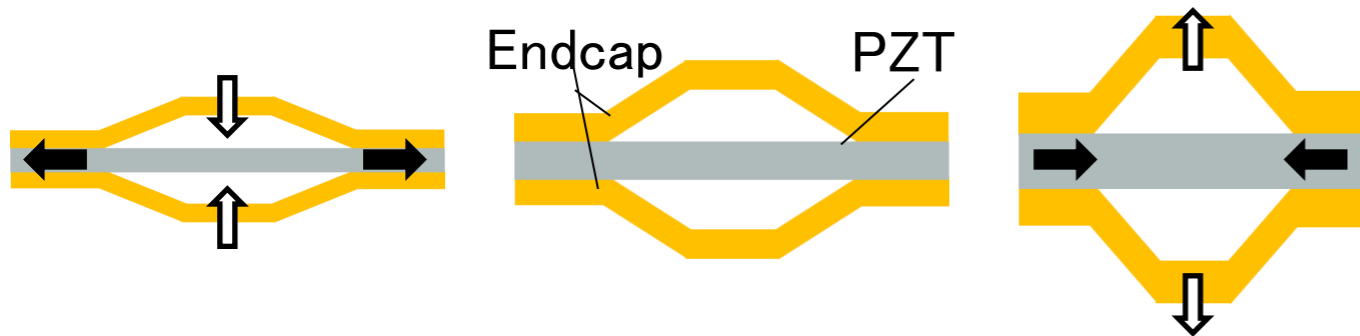
# 小型化デバイスの原理と構造

ランジュバン型振動子の代替として、小型の超音波ソナーや薬物浸透に用いられるシンバルトランスデューサーの技術を利用する

## ▶ シンバルトランスデューサーの特徴

- 振動子の径方向の振動を、エンドキャップのシンバル構造によって鉛直方向の振動に変換する
- 直径5.0 cmで40  $\mu\text{m}$ の振動を発生させることができる。
- パンチ加工や切削により作製が容易

### 振動の原理



小型化デバイスにおいても同一部位から数1000個の細胞が繰り返し採取可能であることを確認できた

## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、低侵襲性・安全性と数時間ごとに繰り返し生細胞を採取できることに成功した。
- 従来は市販のランジュバン振動子を用いていたためサイズが大きく、用途と使用方法が限られていたが、数センチ程度まで小型化と性能の維持実現できたため、様々な臓器において体内留置し用いることが可能となった。

## 実用化に向けた課題

- 現在、摘出臓器に対する細胞採取について開発済み。しかし、生体からの生細胞採取の確認が未解決である。
- 今後数ヶ月で、動物実験を行い生細胞採取の効果と採取部位へダメージがないことの安全性確認を行い、具体的な用途に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、安定して生細胞採取ができるよう採取における手順と方向について確立する必要もあり。

# 社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"><li>・試作評価のための設計が完了</li></ul>	
現在	<ul style="list-style-type: none"><li>・試作デバイスを用いた摘出臓器からの細胞採取が実現</li></ul>	
数ヶ月後	<ul style="list-style-type: none"><li>・動物実験による生体組織からの繰り返し細胞採取と 安全性の確認を実施</li></ul>	デモンストレーション実施 : 各種事業へ応募し研究資金獲得
1年後	<ul style="list-style-type: none"><li>・タンパク質発現の動的変化を示す</li><li>・デバイスとシステムの量産を検討</li></ul>	評価基礎データの公表 サンプル提供が実現
3年後	<ul style="list-style-type: none"><li>・システムの量産と低価格化</li></ul>	

## 企業への期待

- 量産については、微細加工技術、一括作製技術により克服できると考えている。
- 新たな生体計測技術とその展開を求めている企業、健康管理分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

## 企業への貢献、PRポイント

- 本技術は生体の細胞レベルにおける動的な活動が計測可能なため、新たな計測技術を提供することでより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 粘膜細胞採取装置及び粘膜細胞採取方法
- 特許番号 : PCT/JP2024/001274  
国内基礎出願 : 特願2023-008119  
→ 国際公開番号 : WO2024/157872:US、CN、JPに移行済
- 出願人 : 国立大学法人東北大学
- 発明者 : 芳賀洋一、鶴岡典子、ヨウヨウ、小島蒼生

## (関連技術)

- 発明の名称 : 超音波プローブ及びそれを用いたカテーテル並びにその製造方法
- 特許番号 : 特許4677557 (権利満了)
- 出願人 : 国立大学法人東北大学
- 発明者 : 芳賀洋一、安居晃啓、伊関 洋

# お問い合わせ先

東北大学

産学連携機構 ワンストップ窓口

TEL 022-217-6421

お問い合わせフォーム

<https://www.rpip.Tohoku.ac.jp/jp/aboutus/form>