

## ”MEMSで拓く身近な医療およびエネルギー技術”

研究分野：MEMS, 医療デバイス, マイクロ発電デバイス, バイオミメティクス

テーマ

- (1) MEMSアクチュエータの開発
- (2) 機能性材料や生体適合性材料を用いた医療機器
- (3) バイオ燃料電池を用いたモバイル発電システム
- (4) 生物が持つ微細表面技術の活用

応用：医療機器, モバイル機器



# SDGsにおいて医療は上位



# 社会的状況 医療は治療以外の分野も拡大している

背景 医療に関する関心の高さ, 情報技術の進歩による医療技術の進化

未病フェーズ ~アプリやスマートウォッチが健康を見守る

受診フェーズ ~患者が移動せずに診察を受けるのが当たり前

診断フェーズ ~AIが医師の判断をサポート

治療フェーズ ~ロボットやアプリが新しい治療の道をひらく

予後フェーズ ~AIで体調を予測し病状悪化を防ぐ

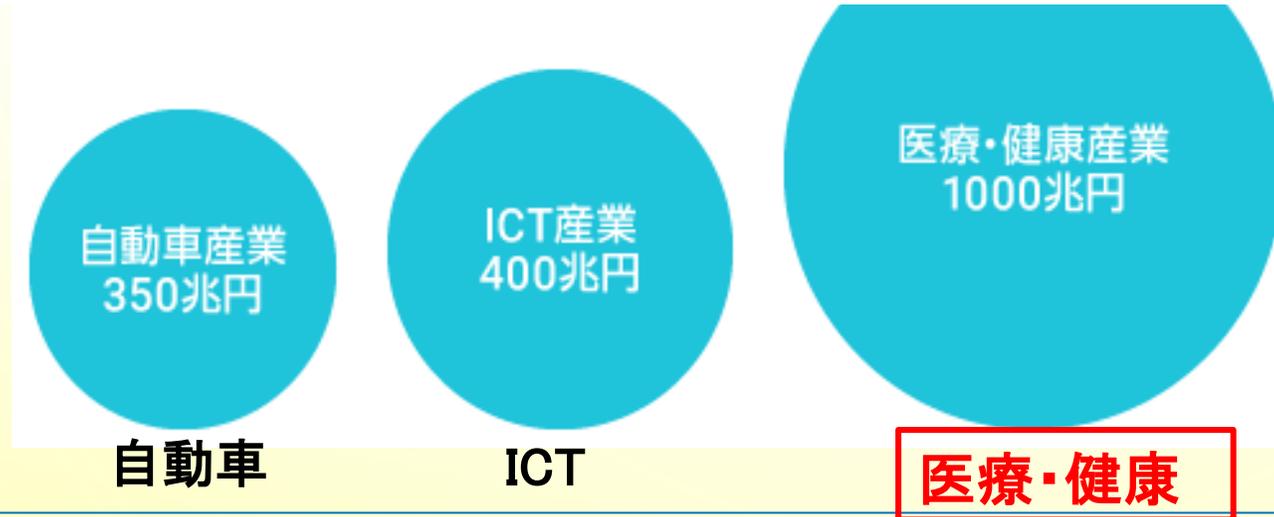
状況 多様な分野に、いろいろな企業が参入している

- 1 健康管理支援
- 2 モニタリングシステム
- 3 データ管理・分析
- 4 センサー
- 5 バイオ技術支援
- 6 画像診断
- 7 医療機器・ロボット構造

Alphabet (Google) / Apple / Meta / Microsoft / Qualcomm / Johnson & Johnson / Intuitive Surgical / Medtronic / Philips / 島津製作所 / 富士フイルム / オリンパス / 日立製作所 / ソニー / パナソニック / 東芝 / NTT / IBM / Samsung / トヨタ自動車 / 大日本印刷 / 花王

# 日本における社会状況 高齢化, コロナ, IOT・AI技術の進展

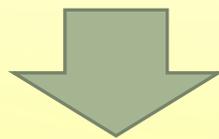
- 高齢化社会: 老人医療(2040年問題)
- (コロナウイルス: 医師・診療機関の負担低減)
- デジタル技術の進歩: 新たな診断・治療法の導入(デジタル医療革命)



■ 2030年に  
医療・健康産業は、  
現在の自動車産業の約7倍に成長

引用: 日経クロステック

セルフモニタリング⇒AIで診断⇒自分で治療 という世の中になる！  
簡単な治療は患者が自ら行う (セルフメディケーション)



<私たちの研究テーマ> MEMSでできる身近な医療・診断デバイスの開発  
自分で操作できる医療機器, 切らずに治療するデバイス

# <補足> 今井研で行ってきたアクチュエータ・センサーの研究

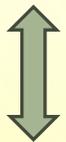
情報化社会の進展 1990年代以降

HDD

ヘッドサスペンション低振動化, ヘッドとディスクの接触検出用薄膜AEセンサー

## MEMS技術の進展(1990年代)~, MEMSの医療・バイオへの応用(2010年ごろ~)

MEMS



ポリマーMEMS  
と  
その駆動用  
アクチュエータ

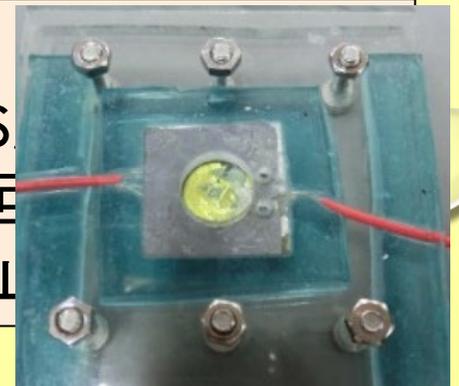
構造部材: ソフトアクチュエータ用の高分子薄膜(ダイアフラム)

- ・ポリイミド(PI)膜、パリレン3次元形状膜
- ・ポリイミド+形状記憶ポリマー(SMP)複合
- ・セルロースナノファイバー(CNF)膜

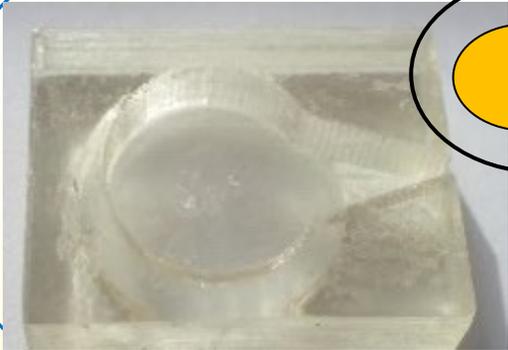


アクチュエータ: ダイアフラムの駆動方法

- ・通電熱膨張膜(AI蒸着膜、PEDOT/PSS)
- ・形状記憶ポリマー(加熱による形状回復)
- ・磁場駆動(PI膜による磁性流体の封入)

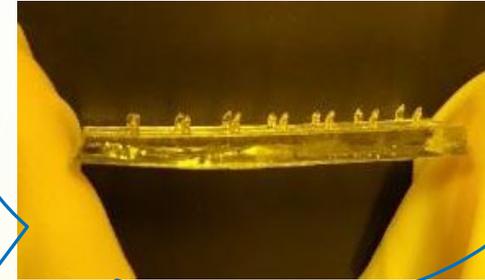


# MEMSでできる身近な医療・診断デバイスとは？



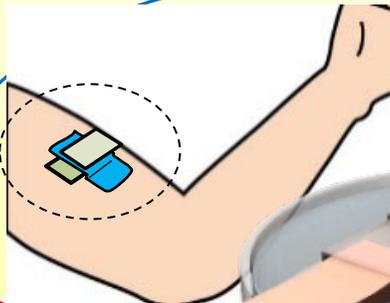
①

体内投薬ポンプ  
(切らずに投薬)



②

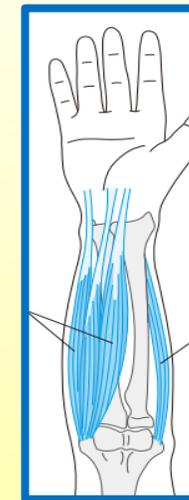
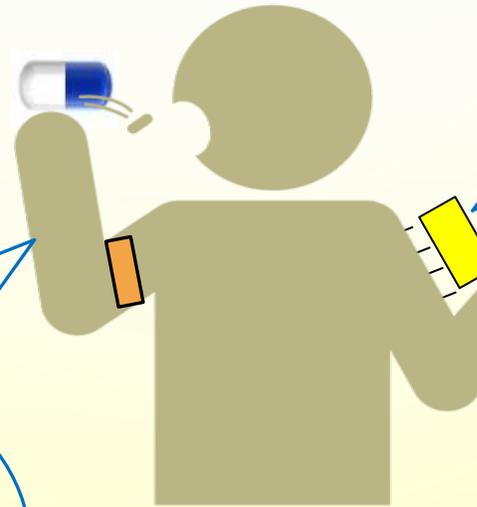
マイクロニードル  
(注射器代替デバイス)



③

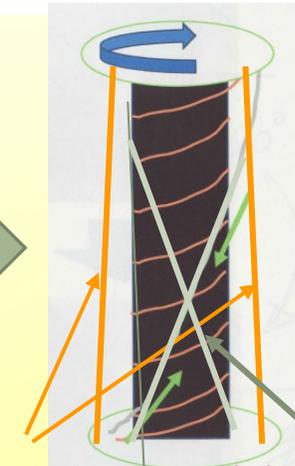
バイオ燃料電池

- 汗など体液を用いた発電
- 食べられない植物を燃料とするエコ発電



④

体内ハンドリング用ソフトマニピュレータ



左右の曲げ用のSMAワイヤー

左右のねじり用のSMAワイヤー



# (テーマ1) 投薬が可能なマイクロニードル

(自分で投薬できる注射器の実現!)

## マイクロニードルの長所

- 操作が容易で、痛みが少ない
- 局所的、直接的な投薬ができる

## 課題

- **多量の投薬を可能にするため毛細管を利用**



## 従来の研究

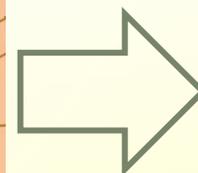
針に薬を塗布, 薬を含有した針が解ける(右下図)  
針の中空化 (研究レベル)  
電気浸透法などの物理現象の利用(研究レベル)

## 課題

投薬量が不十分  
使い捨て可能なものになっていない

- **生分解材料の使用(万一折れても安心)**

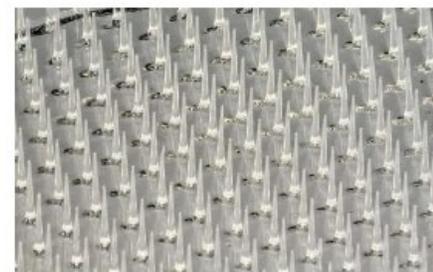
現在, 美容で使われている.



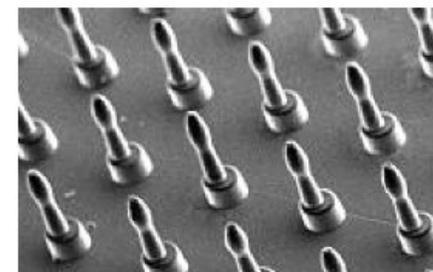
これからは医療へも応用



溶解型マイクロニードル

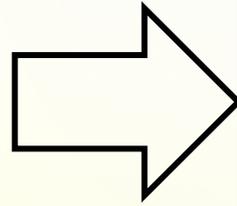


非溶解型(生分解性)マイクロニードル



(コスメデイ製薬HPから引用)

# マイクロニードルの研究の社会的意義

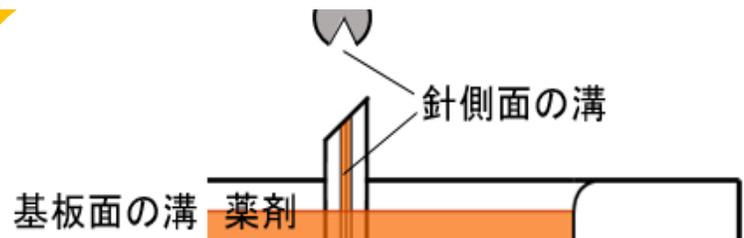


このマイクロニードルアレイは従来の注射に代わるドラッグデリバリー的手段であり、大手医療メーカーが開発に取り組んでいるほか、WHO（世界保健機関）からも商品化が期待されている新技術です。技術が確立されれば、患者が注射の痛みから解放されるだけでなく、医療従事者でなくても注射と同様のドラッグデリバリーが可能になります。WHOが商品化を期待しているのは、医療従事者の少ない発展途

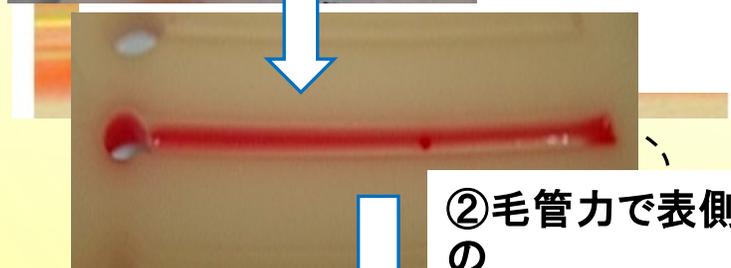
# アプローチ MEMS技術で毛細管用の溝加工（微細な溝だけで搬送可能）

## 1. 搬送のコンセプト

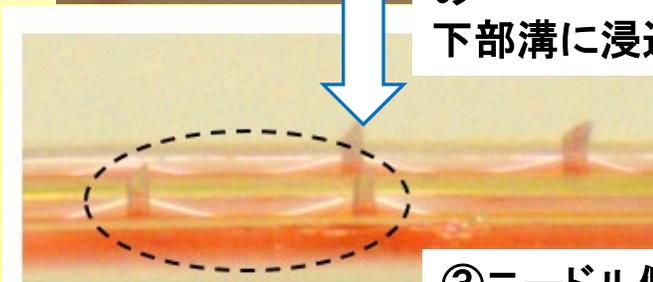
ニードル根本部と針の側面に毛細管の溝を形成



①背面穴から試薬滴下

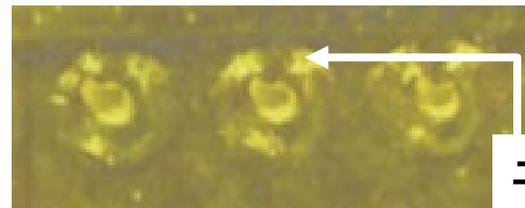


②毛管力で表側の下部溝に浸透



③ニードル側面溝を上昇

溝の拡大図

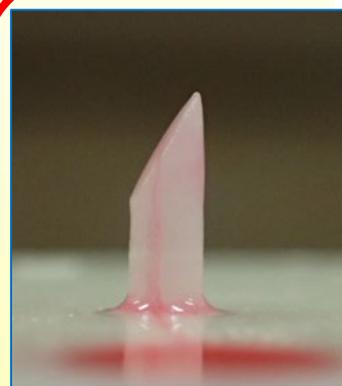


ニードル(φ0.5 mm)側面の溝

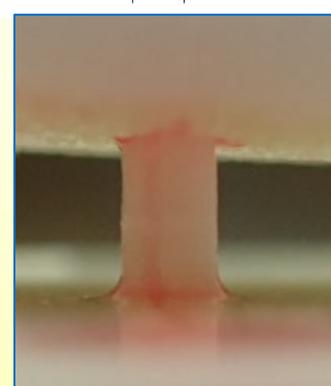


ニードル根本部の溝

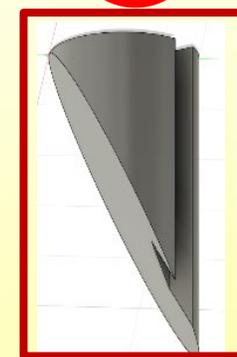
## 2. 針に設ける溝の設計ポイント



× 液が溝から出ていかない



○ 溝先端部も刺さっていると液が出ていく



針先に溝をつける必要がある



＜今年の卒研テーマ＞  
溝付きの穿刺性能向上

# いま行っている研究：刺した後の薬液の挙動

(1) マイクロニードル(MN)の  
超音波加熱  
(加熱による温針灸機能)

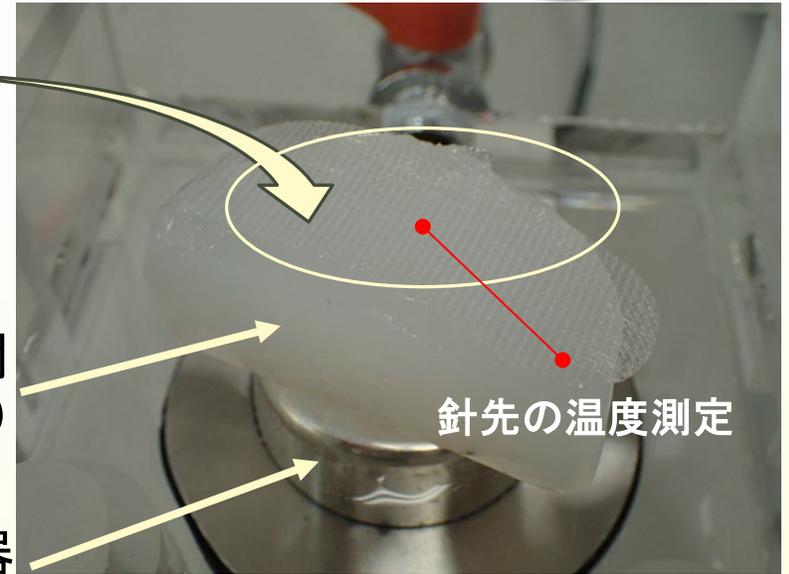


MNパッチの針  
市販のマイクロニードル(MN)

MNパッチ

疑似的な人間の  
皮膚(ゲル)

超音波加振器



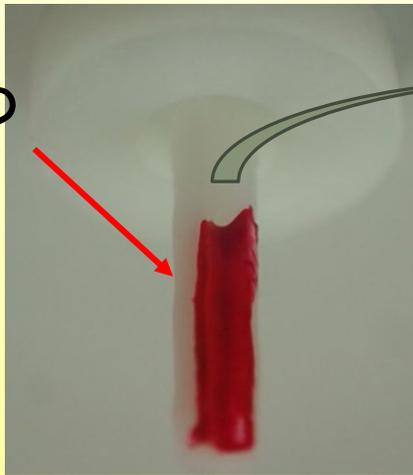
針先の温度測定

実験装置

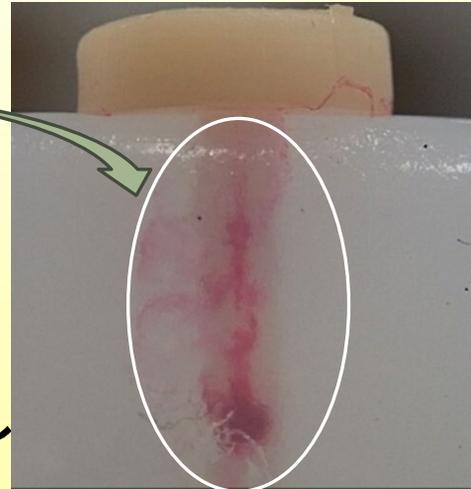
(2) 超音波加熱による薬液の溶融挙動 (薬剤を超音波加熱で溶融させて移動)

可視化用の  
疑似試薬

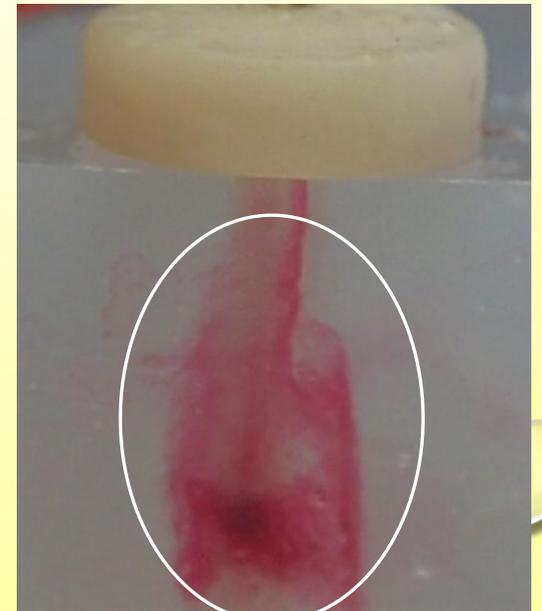
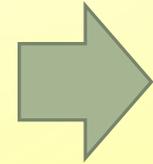
MNサンプル  
(3Dプリンタで製作  
Φ0.5 mm)



MNをゲルに刺し  
超音波加熱



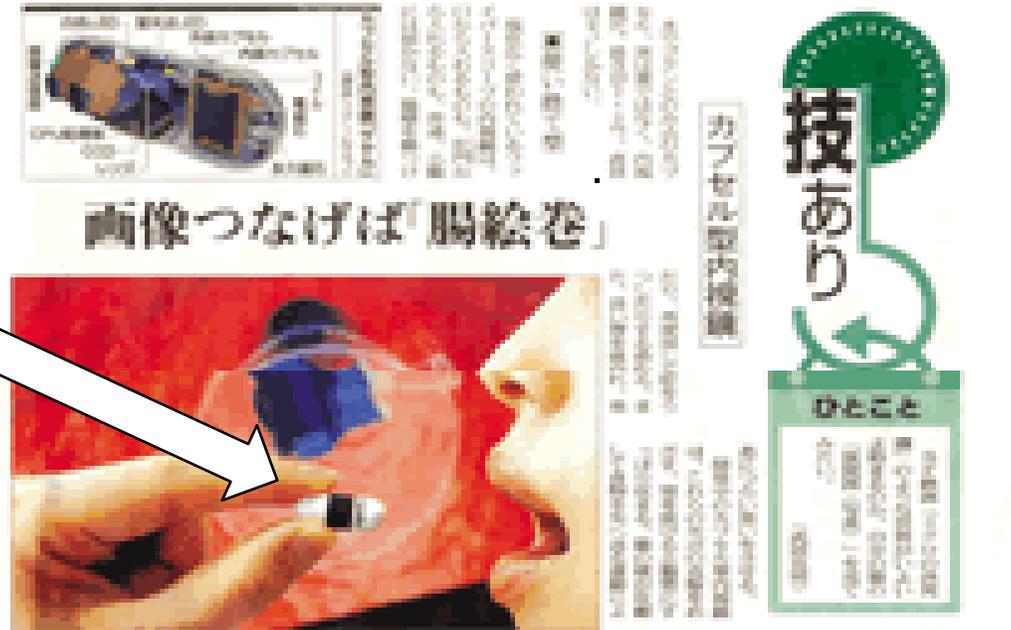
加熱前



加熱後

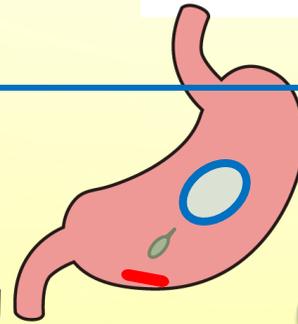


## (テーマ2) カプセル搭載型投薬用マイクロポンプ



### 私たちの設計コンセプト

- 十分小さくする  
そのため機構がないアクチュエータ  
⇒化学反応によって生ずるガスによる駆動
- 反応をコントロールする方法の提案  
ゲルの溶融でトリガー、溶融度で反応の調整)



### 卒研で行ってきた マイクロカプセル搭載デバイス

- 投薬用マイクロポンプ
- 温熱治療デバイス
- 検体採取用マニピレーター

# 化学反応で生ずるガスで駆動する微小な圧力アクチュエータ

## 化学反応で駆動するマイクロポンプ

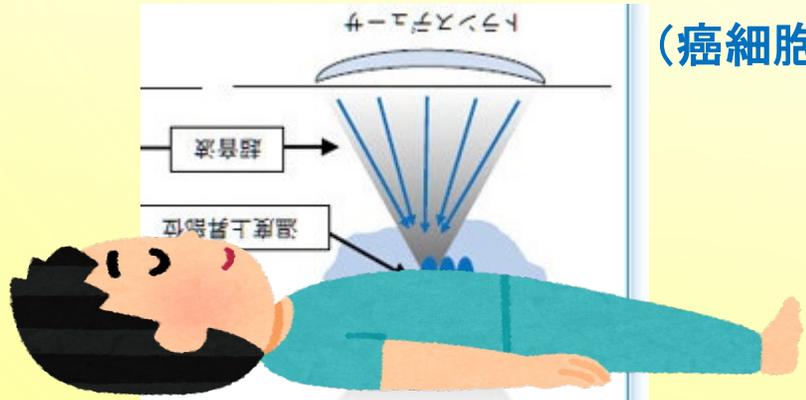
(サイズ:  $\phi 10 \times H10\text{mm}$ ,  $\text{CO}_2$ ガスで駆動)

### 特徴

- 化学反応のためコンパクト、一気に大きな吐出力が出せる
  - 試薬を混ぜたゲルの融解で反応を開始させる
- ゲルの解ける速度で反応をコントロールする。

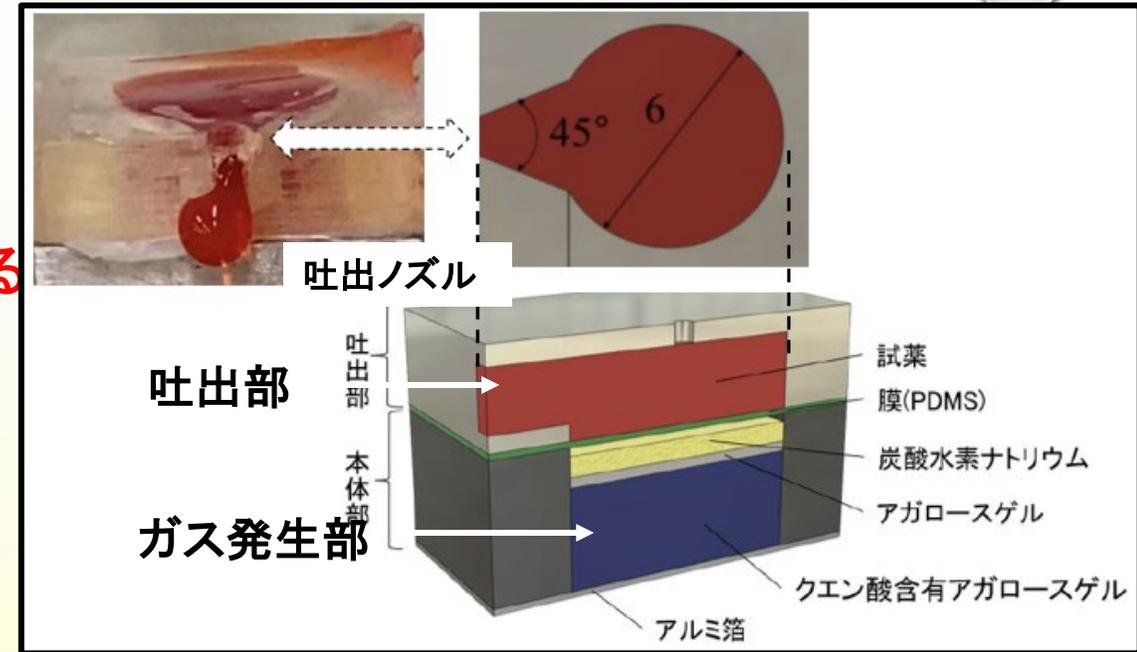
### 研究テーマ

- 体内にあるゲルの加熱: 集束超音波加熱(HIFU)



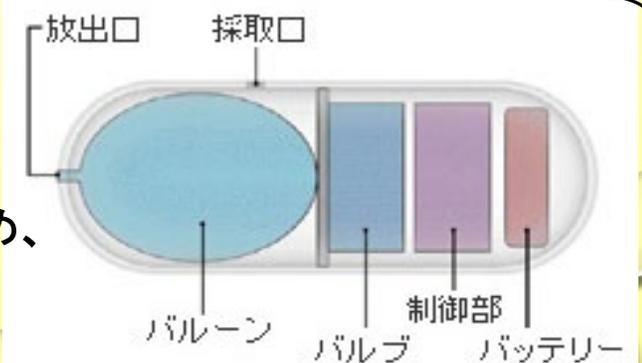
集束超音波(HIFU)加熱 超音波を音響レンズで集光し、振動による摩擦で加熱する。

(癌細胞治療で使われている)



マイクロポンプの構造

<参考>  
オリンパス社  
バルーンに空気を貯め、弁を開放して放出



# 今年行っているマイクロポンプの研究: 体内のカプセルをどう加熱するか?

## (1) 体表からの超音波による加熱の模擬実験

The diagram on the left shows a person lying down with a capsule (カプセル) implanted in their abdomen. An ultrasound transducer (加振器) is positioned on the skin (皮膚) above the capsule. Labels include '超音波' (ultrasound) and '温度センサー' (temperature sensor). Below the diagram is the text 'カプセル(φ10mm, H10mm)'. The central photograph shows the experimental setup with a digital thermometer (THERMOMETER MT-947SD) and a transducer. Labels point to 'カプセル', 'ゲル(皮膚)' (gel used as skin substitute), and '加振器'. To the right, a close-up of the capsule shows the '封止膜(膨張)' (sealed membrane) which has expanded. Below this is the text 'カプセル' and '超音波加熱によりカプセル封止膜が膨張している'.

## (2) 体内カプセルの温度検出法

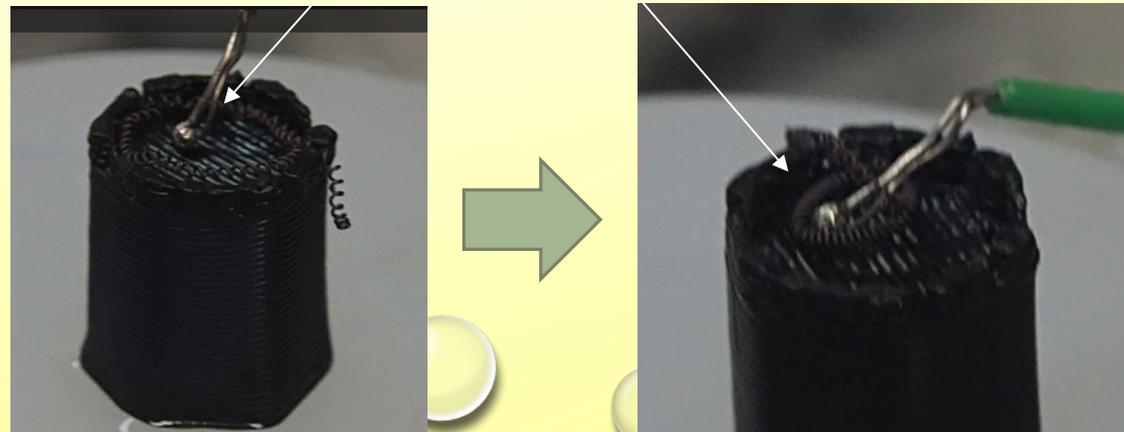
形状記憶合金の変形を超音波スキャナーで観察

### <参考>

他に体内温度を計測する製品(深部体温計)もあり



### 形状記憶合金ワイヤーの変形

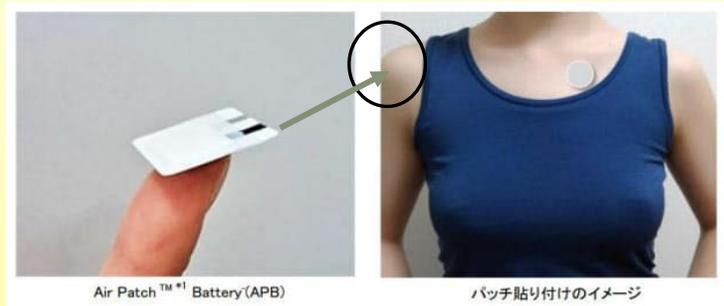




# (テーマ3) 体の近くで発電するモバイル型バイオ燃料電池 (医療センサーのエネルギー源)

## <研究テーマ>

- MEMS加工でフレキシブルな構造
- 生体適合性材料で構成
- 汗や植物を燃料**  
(セルロース:植物を構成している繊維。  
現在あまり利用できていない植物資源を利用して  
カーボンニュートラル化を図る)



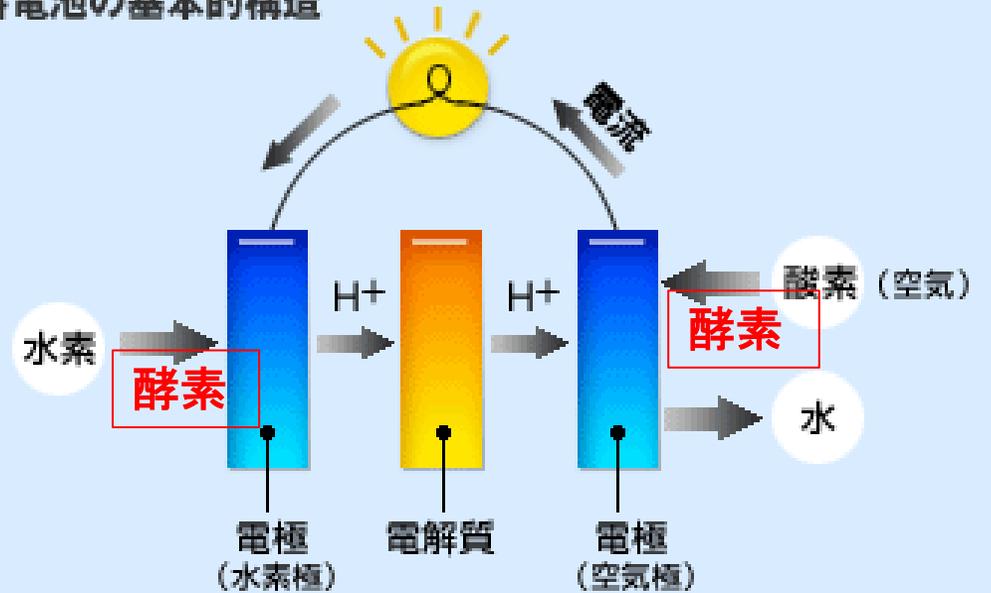
市販されているモバイル医療機器用電源 (引用:マクセル社HP)

電池を使用.  
漏れ出た場合の対策をしている

バイオ燃料電池とは  
**電極に酵素を使用**

- 燃料: 生体内にあるものが使える。  
グルコース, フルクトース, アスコルビン酸(ビタミンC)など
  - 常温, 中性(pH)といった生体に適した環境で発電可
- 課題: 出力が小さい

燃料電池の基本的構造

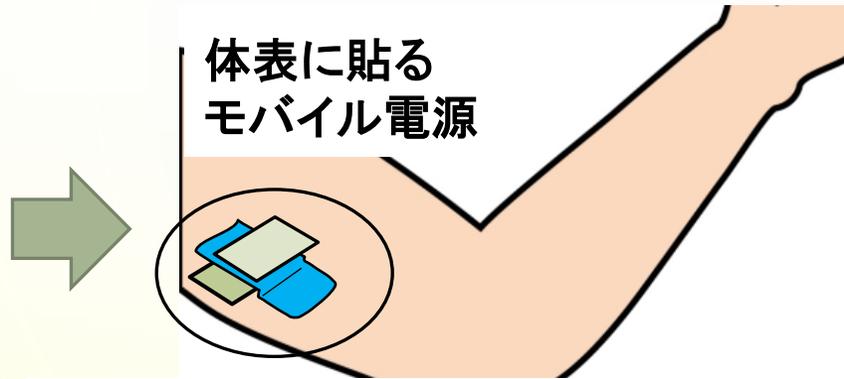


燃料はグルコースなど

# アプローチ 燃料を植物からも供給 (カーボンニュートラルにも貢献)



モバイル医療機器用の電源



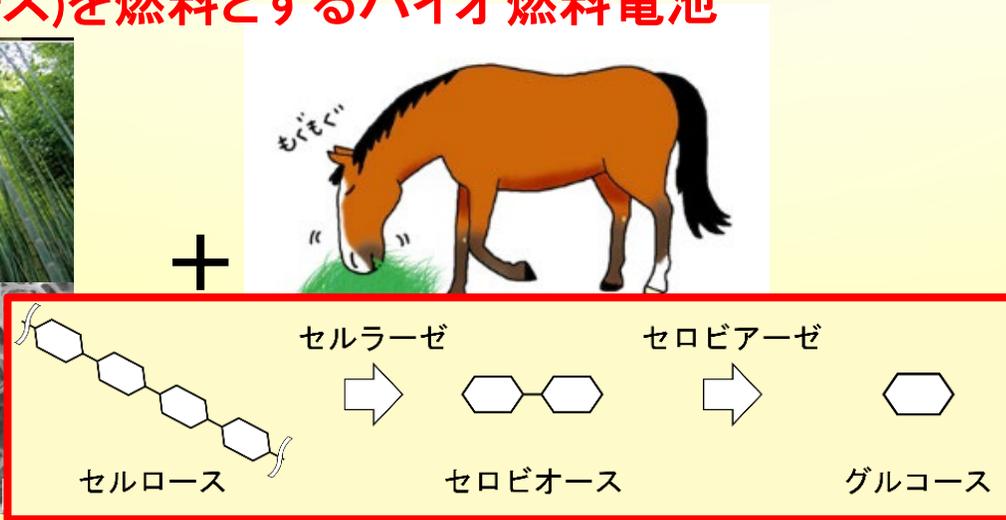
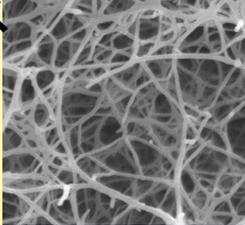
体表に貼る  
モバイル電源

## ①汗(乳酸)を燃料とするバイオ燃料電池

- ・汗を燃料 ←皮膚から供給
- ・汗に含まれるグルコースは濃度が低い  
セルロースも燃料とする
- ・汗の水分で乾燥防止⇒寿命向上

## ②植物(セルロース)を燃料とするバイオ燃料電池

汗  
乳酸、  
グルコース  
など

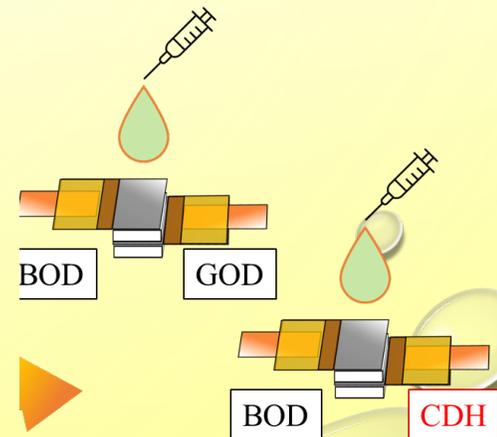


植物のセルロースを燃料とする

酵素でセルロースの糖化

## <今年の研究テーマ>

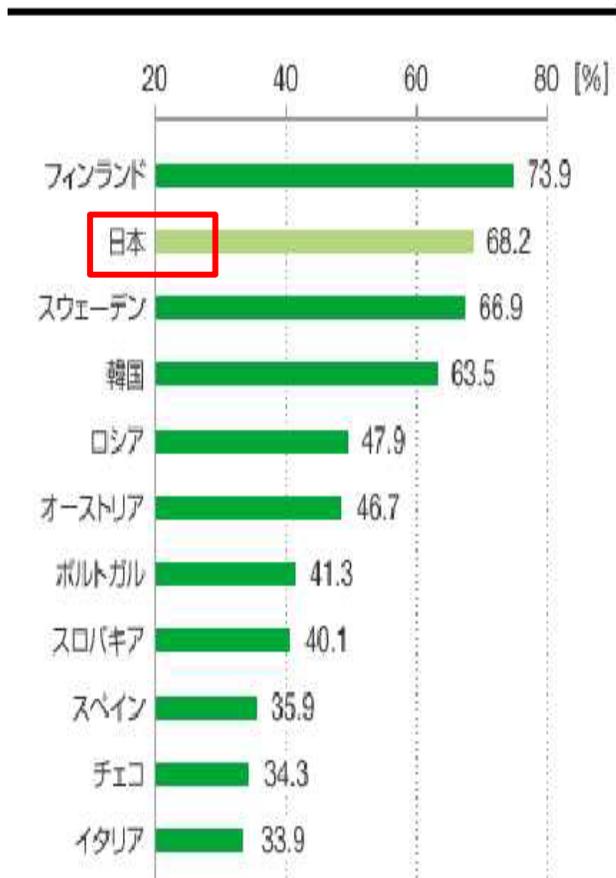
- ・分解酵素の最適化で性能向上
- ・植物を使った発電性能の評価  
(植物で直接発電できることを確認)  
竹, 雑草, 廃材などでの発電を調べる



GOD, CDHで電圧測定

# いま行っている研究：発電に最適な植物の種類や部位を調べる

日本は化石燃料以外のエネルギーを開発する必要がある



国土の約3分の2が森林  
活用できていない森林・植物資源  
を有効に使う必要がある。

バイオ燃料電池による雑草や野菜の廃棄部分での発電を試した

結果

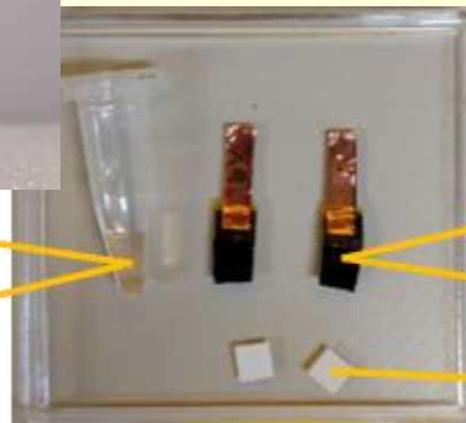
サツマイモの茎や葉は出力が高かったが、  
植物の種類や部位によって出力が異なっている



雑草, サツマイモ, 落花生  
などの葉や茎での発電

燃料

糖化酵素



電極酵素

電極

スペーサー

植物から発電できた。分解酵素を加えてさらに出力が向上した



# テーマ4 医療分野で使用する指サイズのソフトアクチュエータの基礎検討

(2023年度から実施)

## 背景

医療などの分野でソフトアクチュエータのニーズが高まっている。そのため医療やマイクロアクチュエータの分野では、右図に示すような空気圧方式①や電圧印加で変形する高分子材料が研究されている。



## <本研究のアプローチ>

人間の手の筋肉の動きを検討  
いくつかの筋繊維束によって引っ張られている。



これをまねて、  
数本のワイヤーによってフレキシブルな構造(円柱)を引張り曲げとねじりを起こさせる方法を採用

目標:1本の指のようなプローブを曲げる、ねじる(回転)を微小なサイズで行わる。(空気圧ではねじることができない)

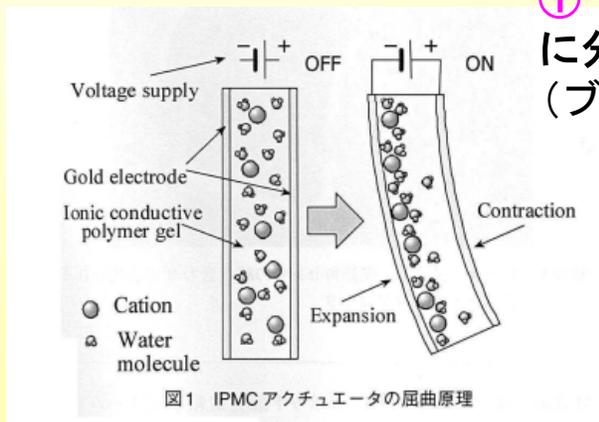
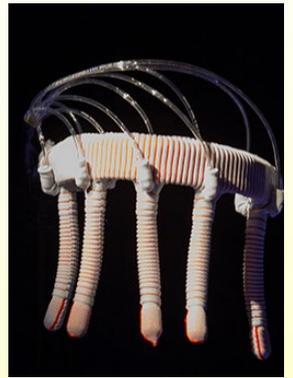
## 従来の研究

材料:ゴム, ゲル, 誘電体, 高分子

- ① 空気圧で変形させる(ゴム)
- ② 電圧をかけて伸縮させる(高分子, ゴム, 誘電体)

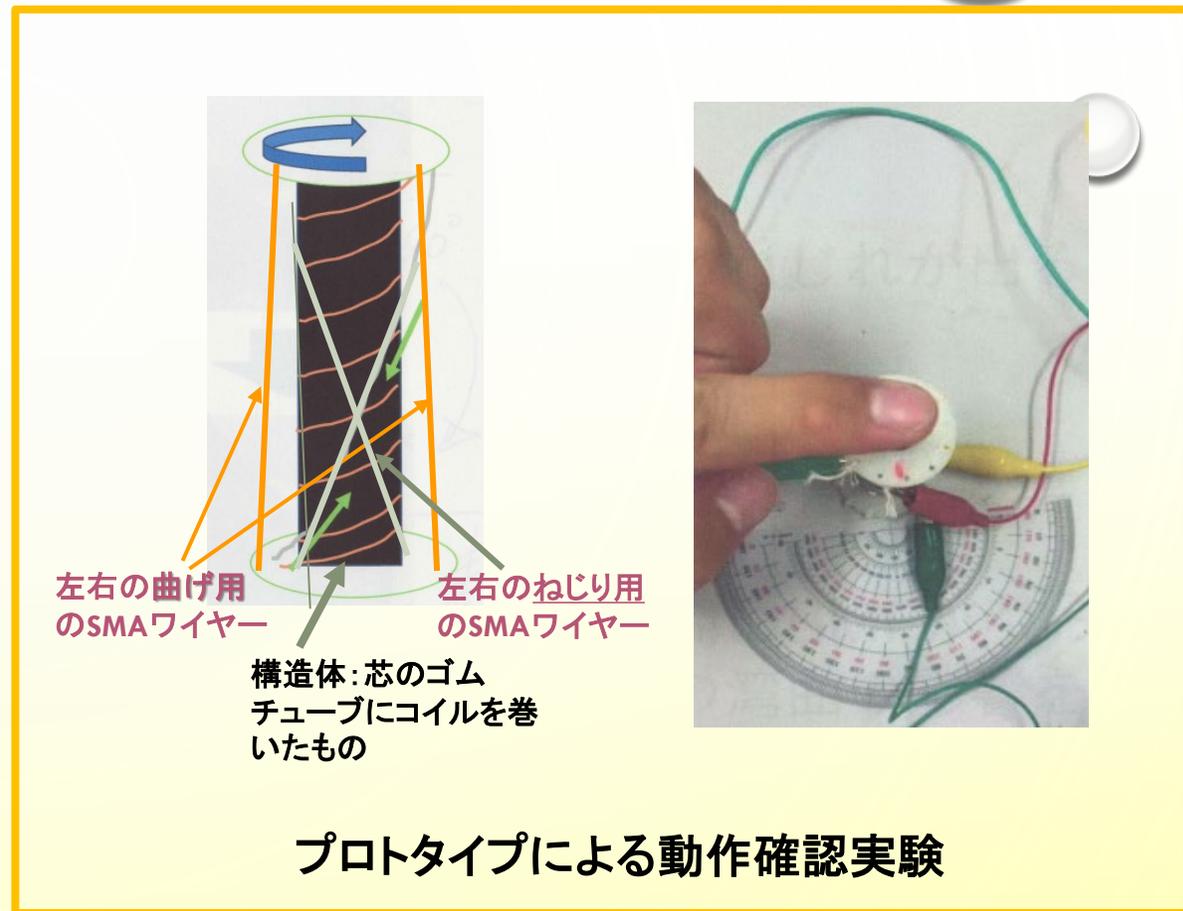
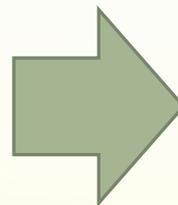
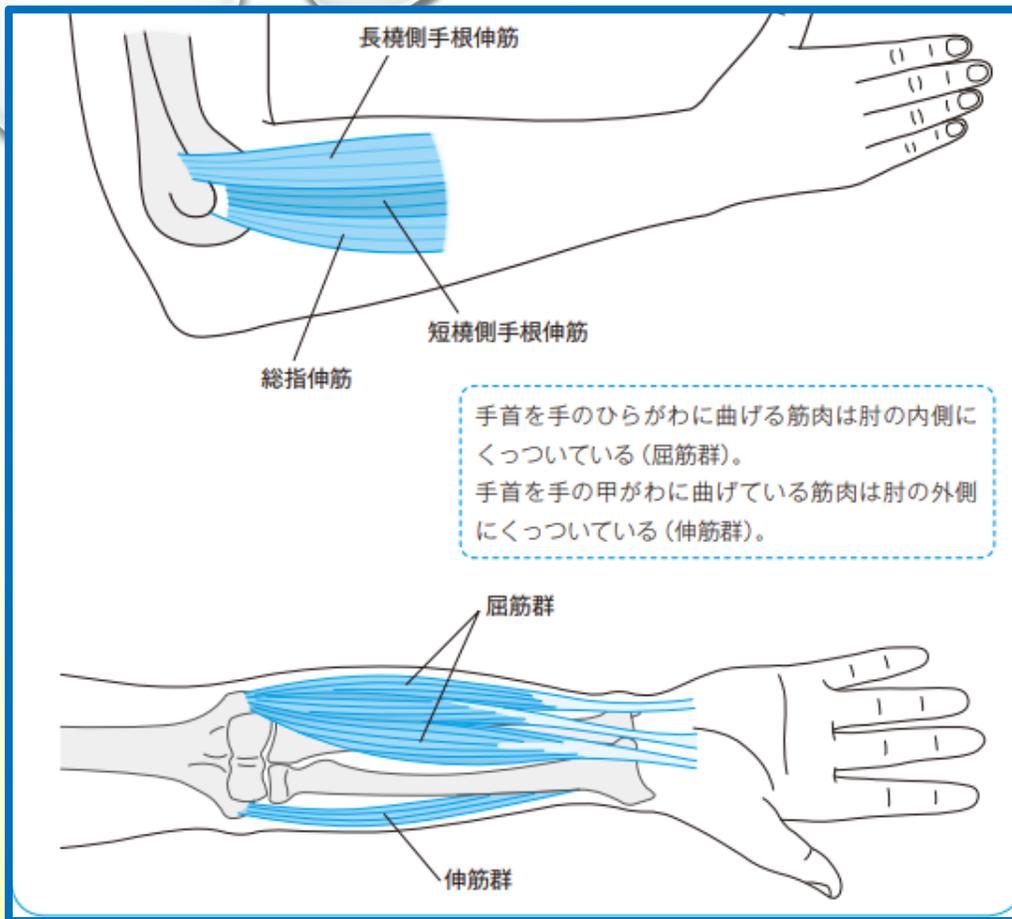


①マッキベン型  
ゴムをメッシュで巻き、  
空気を封入したもの



①' ゴム内部をセルに分け、空気を封入(ブリジストン)

②' 導電性高分子PPy (イーメックス)



腕についているこのような筋肉が、手のひらを曲げる、ねじるといった動作を行わせている



このような筋肉をワイヤーで代用し、複数のワイヤーを選択的に引っ張ることで、曲げやねじりを引き起こすことができると考えられる。

- ゴムチューブ+コイルを腕に見立て、ひもが筋繊維に相当
- いずれかのひもを引張ることで、チューブの曲げ、ねじりが行えることを確認。
- ひもを引っ張るためのアクチュエータは形状記憶合金(SMA)コイルワイヤーに通電
- 回転も2本の巻き付けひもで両方向可能。



(テーマ4)

# バイオミメティクスをMEMS技術で模倣し微細構造に応用

要素のサイズ

発現する機能

応用例

- 数～数10  $\mu\text{m}$

**ロータス効果**

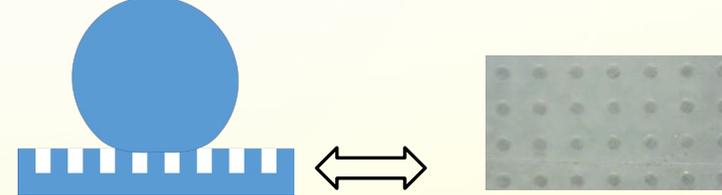
微量な液体の搬送(分析装置、医療デバイス)

Siや高分子膜に微細突起形成



原理: 微小突起により水滴下面に空気 (ロータス(蓮の葉)効果)

リソグラフィで加工



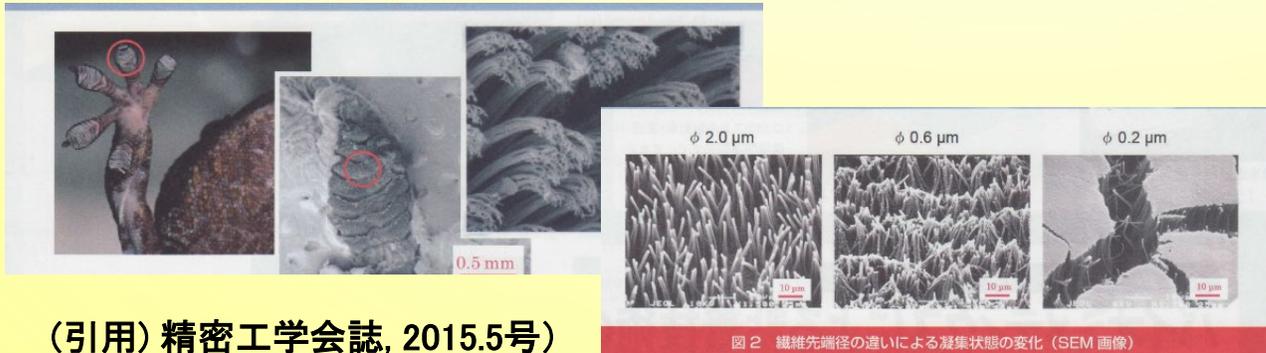
- 数100nm

**光の反射防止**  
(モスアイ効果)

無反射ディスプレイ

- 数10 ～ 数100nm

**ヤモリの足効果** 粘着強度大だが剥がし易い



(引用) 精密工学会誌, 2015.5号)

図2 繊維先端径の違いによる凝集状態の変化 (SEM 画像)

医療用マニピュレーターの  
ハンドリングに応用

微細化

# 最後に

世の中の変化や技術の進展が速く、そのため次々と生まれる新しいニーズにMEMS技術と独自のアイデアで応えていきたいと思っています！

皆さんからのアイデアをインターンでください。

そのアイデアを今井研が実現させたいと思います。

- 興味を持たれた方は、研究室HPもご覧ください



## (精密機械) 今井研究室



### トップページ

#### 研究室紹介

現在および過去の研究紹介

### 新着情報 News

2022.03 卒研紹介を更新 NEW

2022.02.08 研究室紹介、メンバー紹介・設備を更新いたしました。

終了 (有難うございました!)