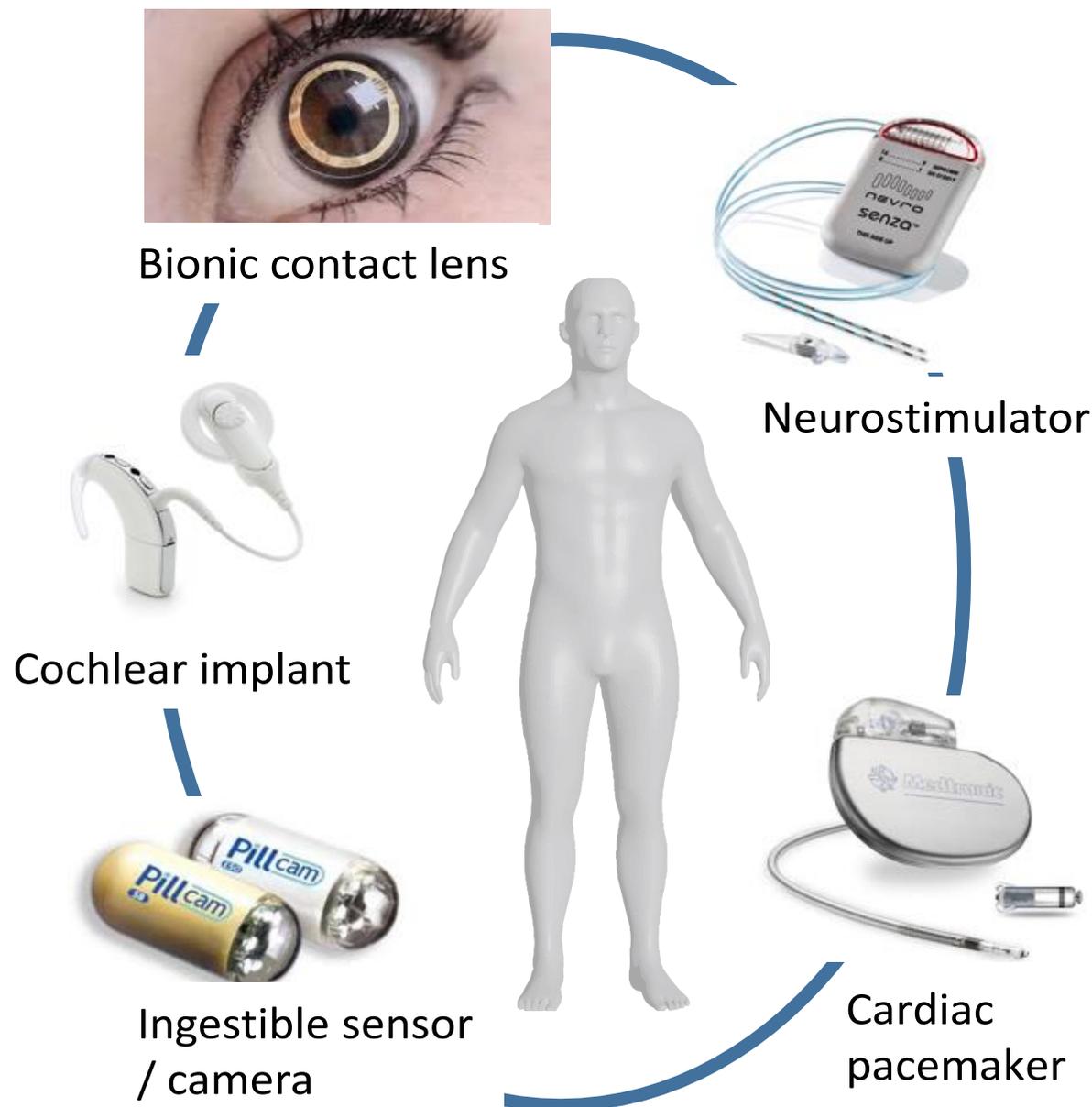


# 飲み込み型センサー用の 胃酸電池の開発

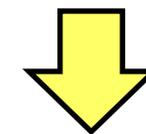
東北大学 多元物質科学研究所  
教授 本間 格

令和2年7月16日

健康モニタリングから体内その場ガン治療まで広範囲なバイオエレクトロニクス応用



バイオエレクトロニクスによる  
健康医療産業の市場成長



再び電子立国への期待

- ◆ 体内センサー
- ◆ 健康モニタリング
- ◆ 脳神経刺激・制御
- ◆ 心臓ペースメーカー
- ◆ ドラッグデリバリー
- ◆ ガン光線療法
- ◆ 人工臓器

## カプセル内視鏡 (オリンパス)

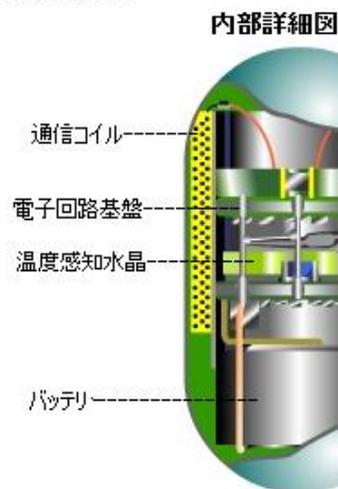


Φ11 x 26 mm  
酸化銀電池

アメリカ食品医薬品局 (FDA)  
の認可を得ている

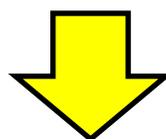
## 体内温度計(HQ Inc.)

カプセルセンサー



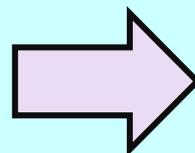
Φ9 x 23 mm  
\$40/pill  
酸化銀電池

生体適合性の高エネルギー密度の  
マイクロ電池が現在、存在しない



## ベンチマーク

世界最小 < 5 mm  
高容量型 > 10 μWh



胃酸蓄液電池を  
世界最初に開発する

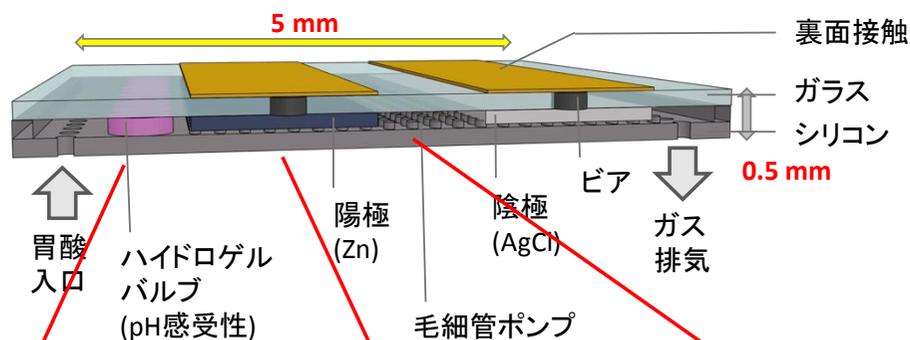
## Smart Pill (Proteus Digital Health)



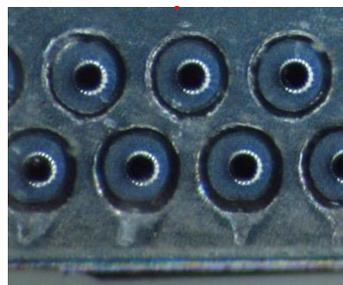
Φ5 x 0.7 mm, \$ 500/pill  
Mg系胃酸電池

<https://www.medicaltown.net/>  
H. Hafezi et. al., IEEE Trans.  
Biomed. Eng., 62 (2015) 99.

- 錠剤型デバイスを飲み込んだ後、胃液を電池内部に取り込み保持して電解液として作用させる。
- 亜鉛(Zn)負極と塩化銀(AgCl)正極で発電する1次電池で胃を通過後も数時間発電が持続。
- シリコンチップ上のセンサーを駆動させバイオデータ(体温、酸素濃度など)を取得して対外送信。

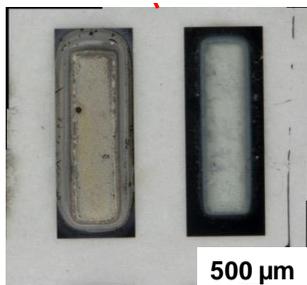


② Hydrogel valves



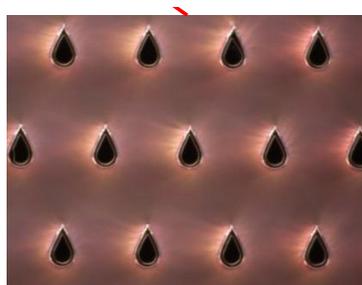
300 μm

① Microelectrodes



500 μm

③ Capillary pump



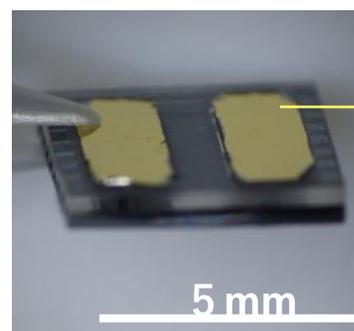
120 μm

開発中のバイオMEMS型マイクロ胃酸蓄液電池

### 【バイオ電池に対する要望】

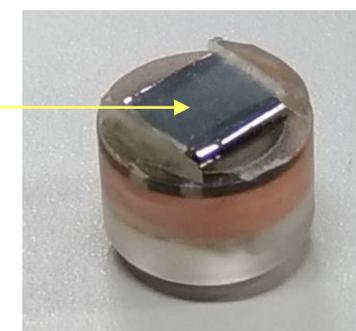
- ・低価格化 (<10米ドル/1000円)
- ・小サイズ化 (<10 mm、錠剤サイズ)
- ・長い作動時間 (> 15 h)
- ・体液や組織を利用したデバイス作動 (胃液を利用した発電素子)
- ・生体適合性
- ・発電容量 10 μWh以上

胃酸蓄液電池の作製  
現状、5mmサイズセル

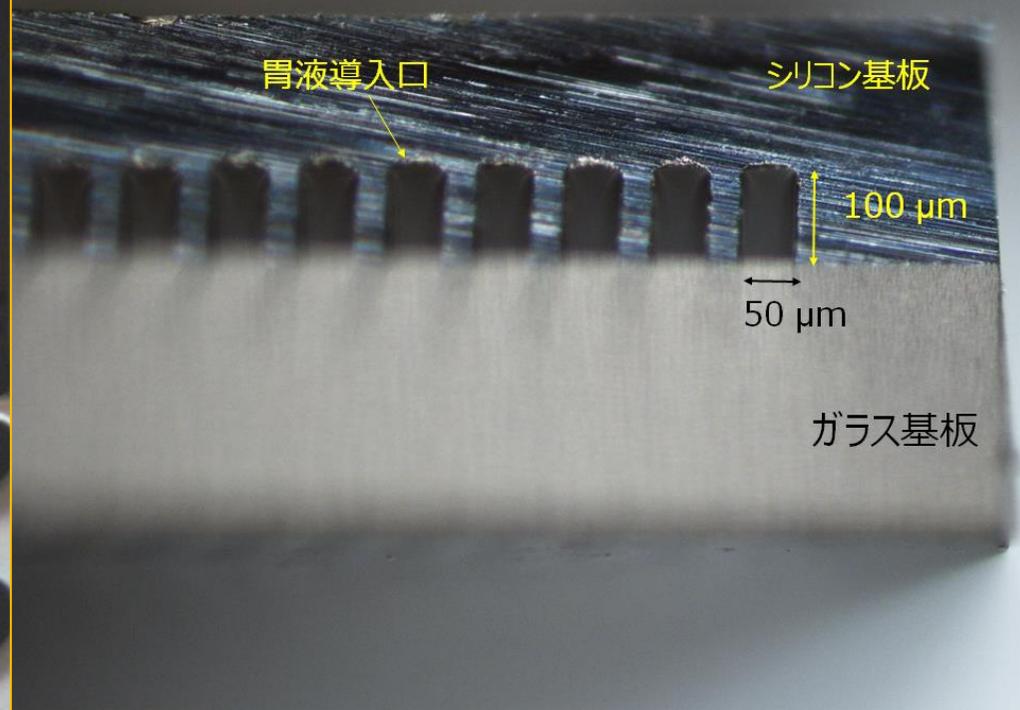
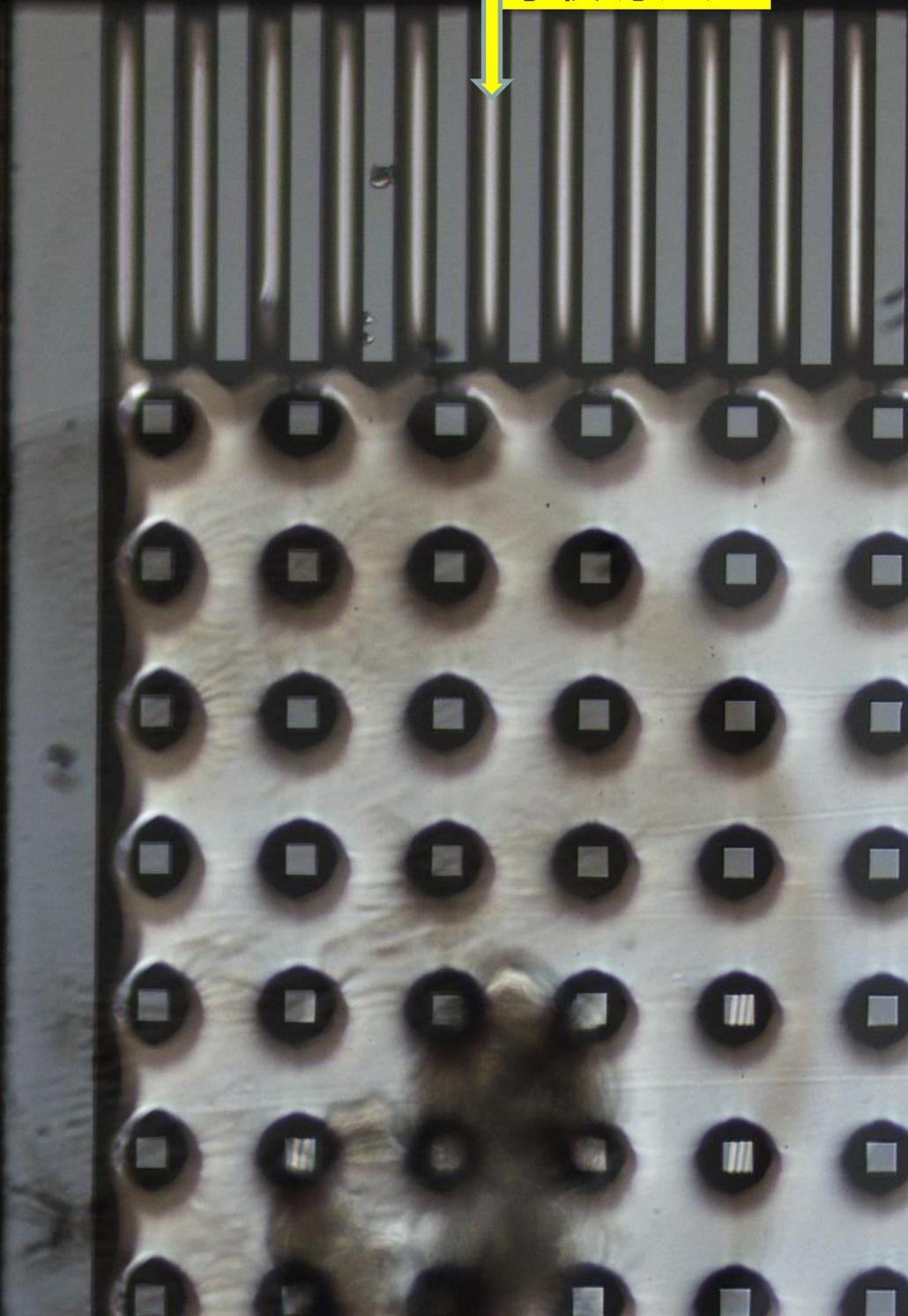


5 mm

バイオセンサーデバイス試作品  
1cm サイズセル



胃液導入口



胃液導入口

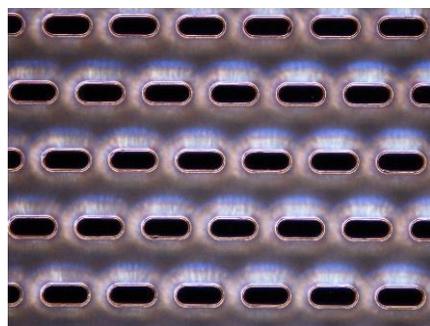
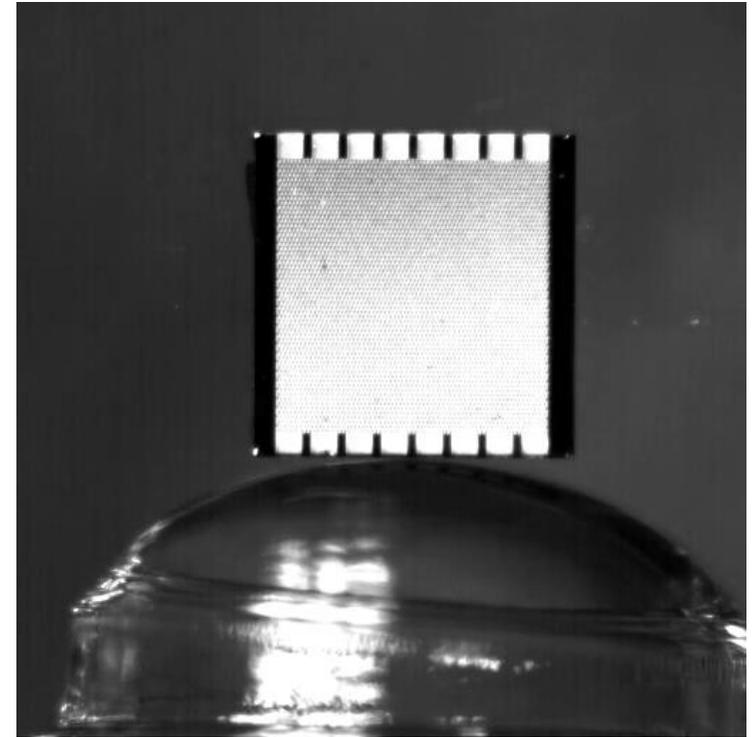
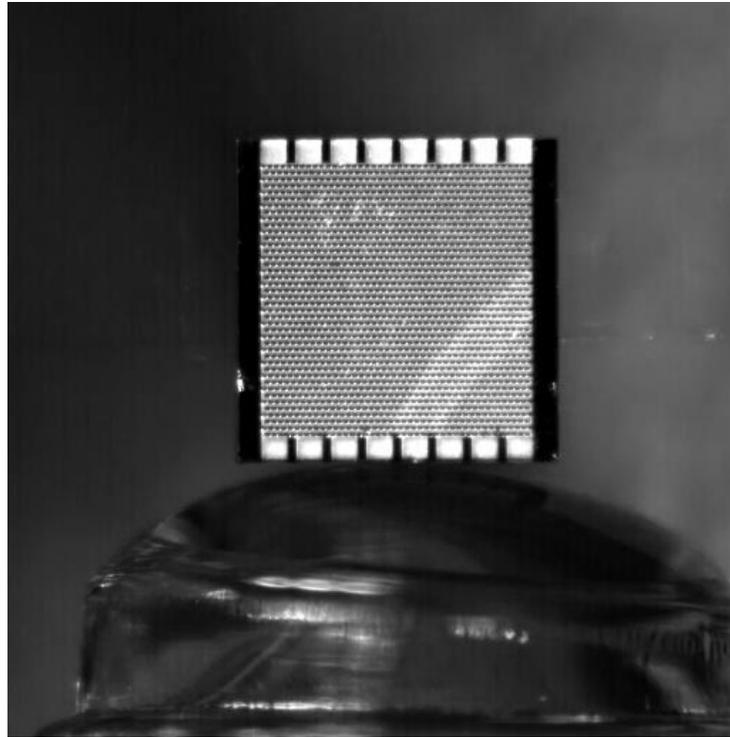
シリコン基板

100  $\mu\text{m}$

50  $\mu\text{m}$

ガラス基板

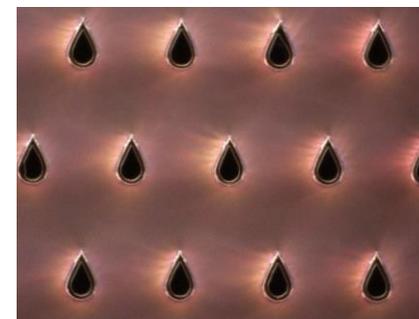
500  $\mu\text{m}$



200  $\mu\text{m}$

5 mm

$\Delta t \approx 259 \pm 2 \text{ ms}$

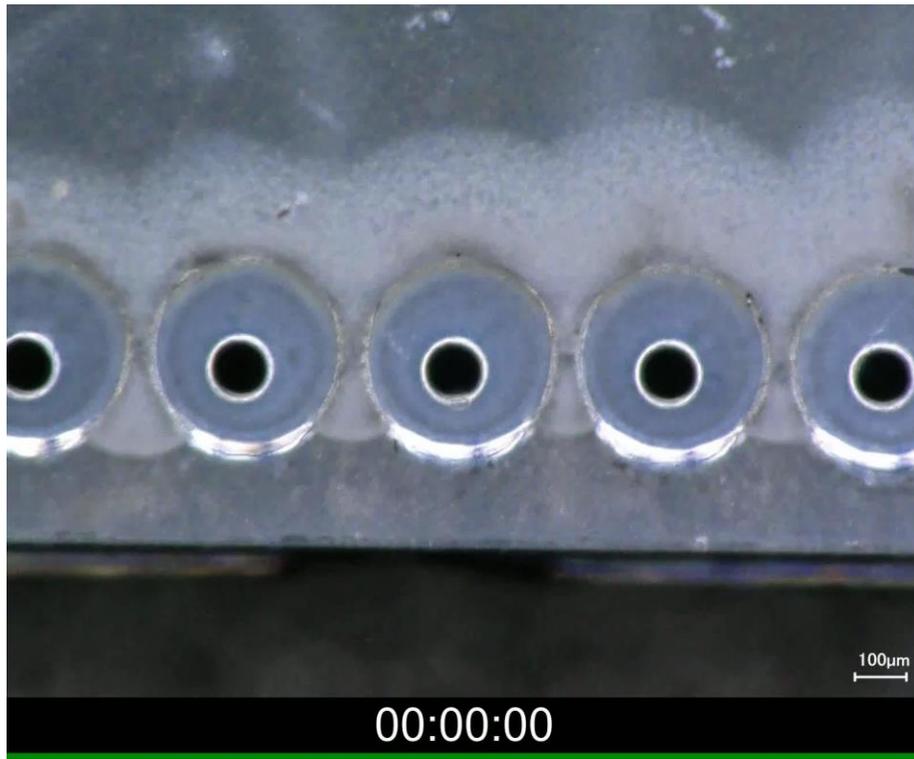


120  $\mu\text{m}$

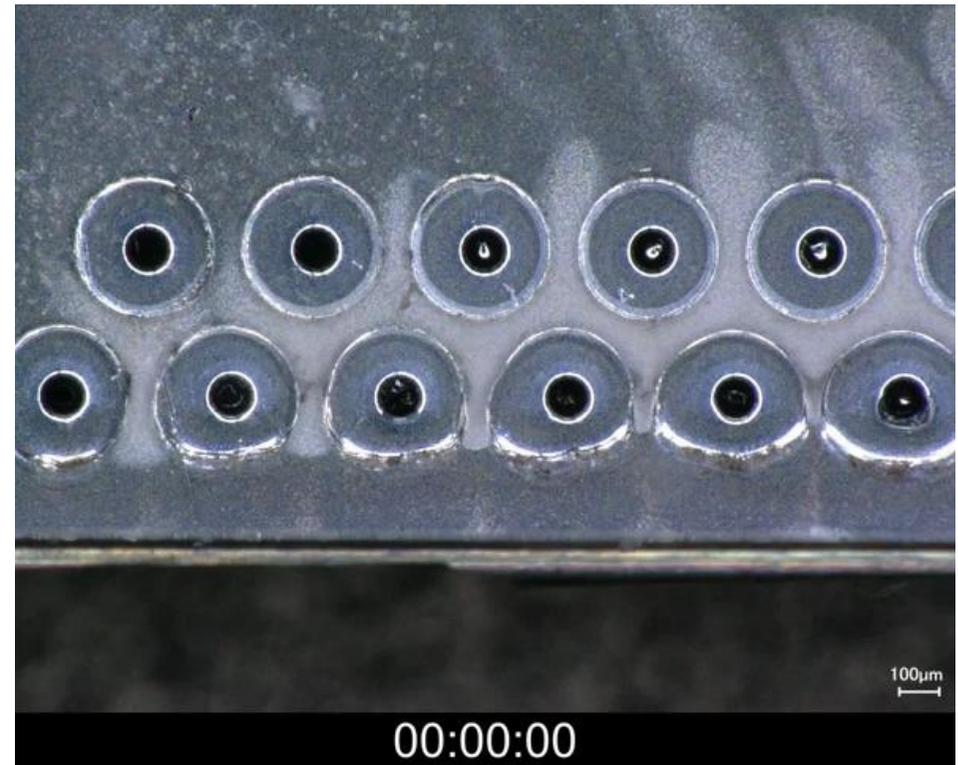
5 mm

$\Delta t \approx 106 \pm 2 \text{ ms}$

シリコンピラーのナノパターニングにより胃液の吸入と残留ガス気泡の排出



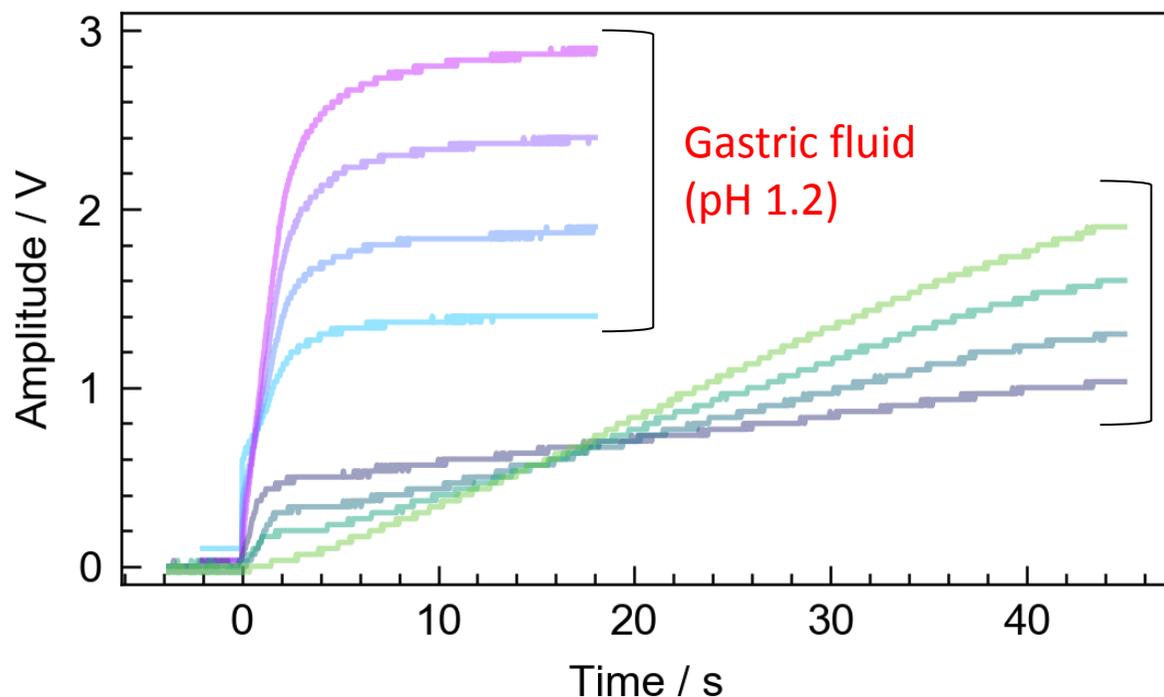
Microfluidic reservoir containing single array of hydrogel valves



Microfluidic reservoir containing two arrays of hydrogel valves to improve stabilization of pH

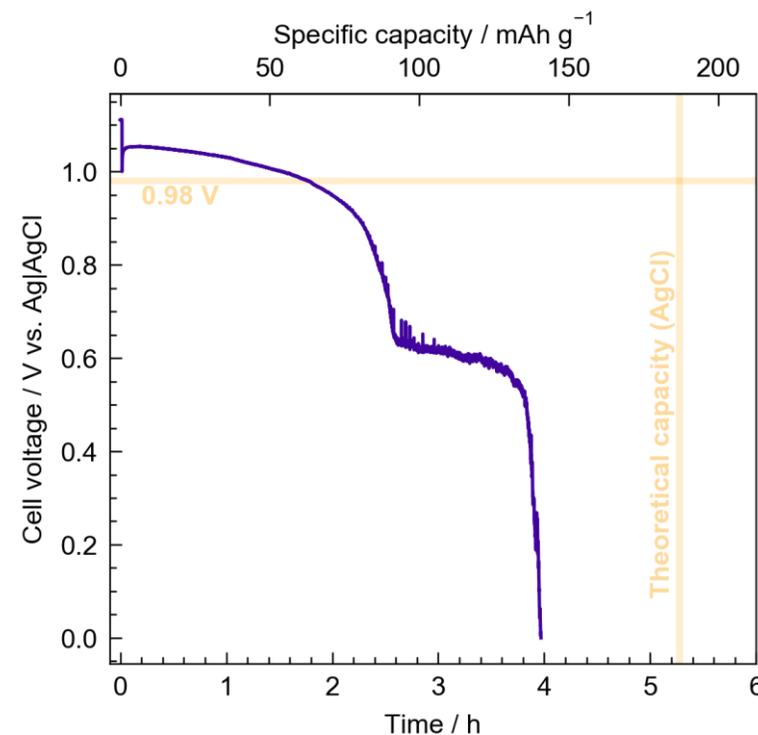
Experiment: Microfluidic reservoir containing simulated gastric fluid (pH 1.2) placed in simulated intestinal fluid (pH 6.8); observation using time-lapse microscopy

擬似胃液中で**5秒**程度で発電できる (腸液だと十分な発電が出来ない)



Intestinal fluid  
(pH 6.8)

擬似胃液中で4時間程度発電可能



いずれにせよ装着型センシングデバイスには全て電源（電池）が必要

<p><b>血糖値センシング</b> Optiscan Biomedical 社 (血糖値モニタリング) iXensor 社 (スマートフォンを使った血糖値コレステロールセンサー)</p>	<p><b>投薬・癌マーカーセンシング</b> Proteus Digital Health 社 (投薬管理センサー) Thrive Earlier 社 (血液検査による癌早期発見)</p>	<p><b>睡眠センシング</b> SleepMed 社 (睡眠時無呼吸センサー) Neurovalens 社 (睡眠導入ヘッドセット)</p>
<p><b>心電・心拍センシング</b> iRhythm Technologies 社 (携帯型心電計) Cheetah medical 社 (非侵襲型の血行動態モニタリング)</p>	<p><b>汗・尿センシング</b> Impeto Medical 社 (汗による糖尿病リスク評価) NucleoBio 社 (尿検査キット)</p>	<p><b>感情認識センシング</b> Sentio Splution 社 (感情センサー) eMind Science 社 (メンタルヘルスの自己測定)</p>
<p><b>血圧センシング</b> Endotronix 社 (心不全予測システム) Biospectral 社 (モバイル型血圧計測システム)</p>	<p><b>呼気センシング</b> Spirosure 社 (呼気中一酸化窒素濃度測定) Aider Health 社 (呼気からの健康評価デバイス)</p>	<p><b>ストレスセンシング</b> WellBe Digital 社 (ストレス計測軽減デバイス) BioSelf technologies 社 (ウェアラブル瞑想デバイス)</p>
<p><b>組織・臓器センシング</b> Injectsense 社 (埋め込み型眼圧センサー) Skulpt 社 (体脂肪率・筋肉質センサー)</p>	<p><b>脳センシング</b> NueroElectrics 社 (脳波測定デバイス) Jan Medical社 (脳異常の早期発見システム)</p>	<p><b>感染症センシング</b> PinPoint Science 社 (体液からの感染症診断デバイス) Luminostics社 (スマホカメラで細菌ウイルス検出)</p>
<p><b>栄養センシング</b> Vitastiq 社 (栄養状態センサー)</p>	<p><b>音声認識センシング</b> Canary Speech 社 (健康状態を認識する音声アプリ)</p>	<p><b>意思感情センシング</b> CYBERDYNE 社 (発話や身体動作が不自由な人意思疎通デバイス)</p>

## Global Wearable Medical Devices Market Revenue (USD Mn), By Region, 2016

**USD 9608.7 Mn**

**2016–2026 年率 6.9% で増大**



Source: FMI, 2016

- Total global market for sensors involved in everyday life:  
**USD 43.2 billion in 2018 → 4兆円!**
- Expected to reach nearly \$85.6 billion in 2024, growing 12.1% annually.  
⇒ **Large potential for flexible, custom-made bio-energy devices**

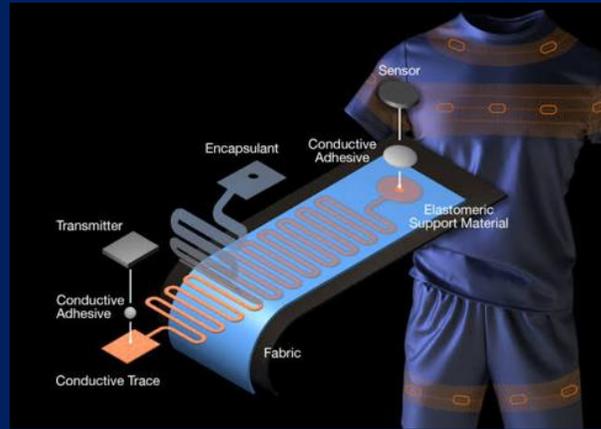
# ウェアラブル健康医療デバイスの市場成長が予測される

- 生体適合性のバイオマテリアルを用いた体内埋め込み、飲み込み、ウェアラブルなフレキシブル型電池の開発
- 体内マイクロロボット外科治療、健康センサー用の飲み込み電池やアクチュエーター、義手・義足・義眼用の生体適合性マイクロ電池

## On skin bioelectronics



## Smart Clothes

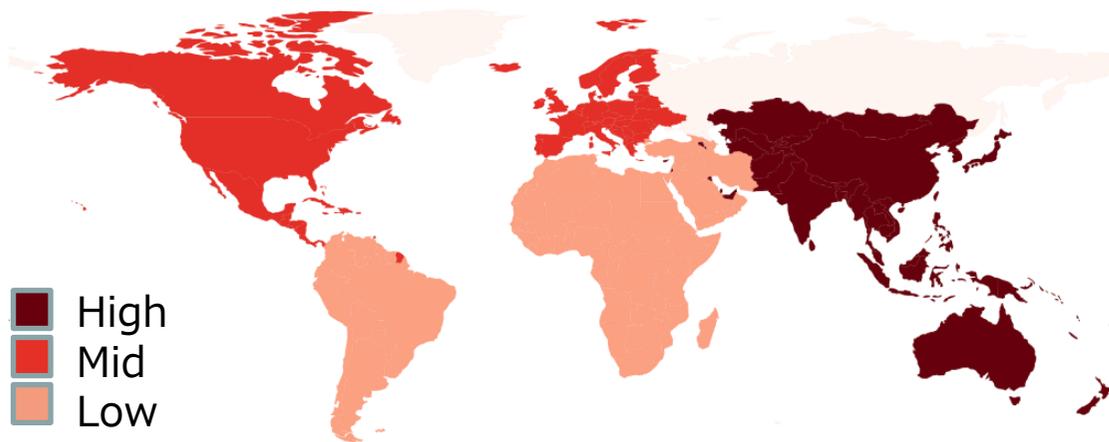


## Smart actuators

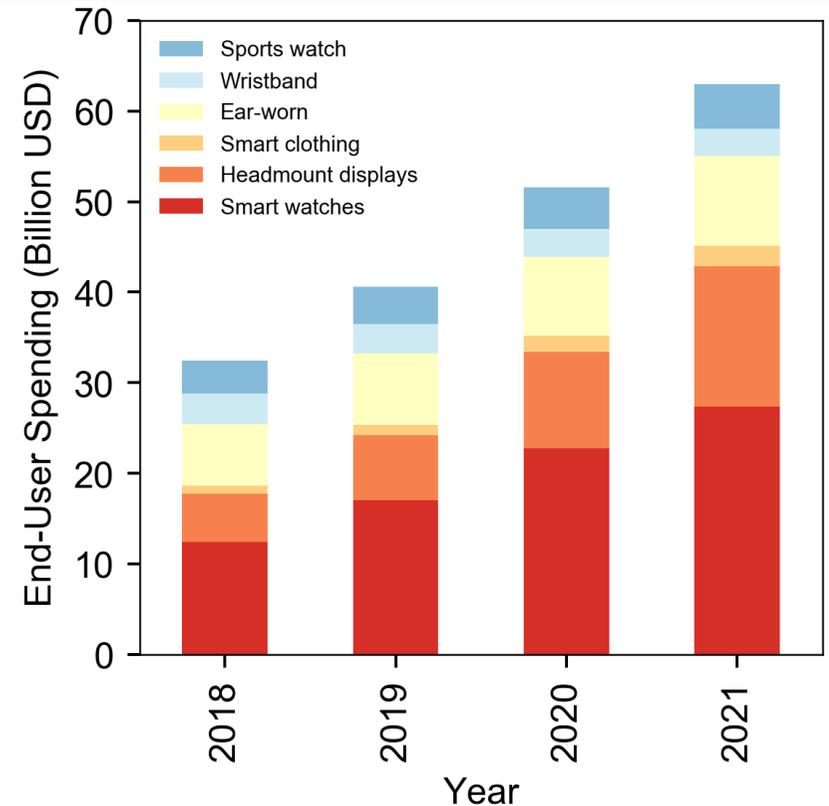


世界で約 6 兆円のマーケット  
(2020-2021)

Smart Watchなど  
すべて電池が必要



Mordor Intelligence (2018)



## 従来技術とその問題点

現状、胃液などの体液で駆動する発電素子は存在しない。カプセル内視鏡等に使われる1次電池は酸化銀電池などの従来型電池のコインタイプセルであり概ね1cm x 2cm程度の大きさがある。カプセル体積の半分が内装電池に用いられており、小型化が基本的に不可能である。

小型の埋め込みあるいは飲み込み型電池の実用化の為にはMEMS技術が効果的である。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 当該電池は飲み込んだ後に胃の中で胃液を素子内部に取り込むことで発電する胃液蓄積電池素子を提供する。シリコンチップ上にMEMS加工技術を用いて直接作製したミリメートルサイズの超小型電池でありシリコンデバイス技術と親和性が良い。
- シリコンMEMSを用いた超小型電池
- 胃液で駆動する発電素子
- 生体適合性の電池

## 想定される用途

- 本技術はシリコンMEMSを用いて胃液で駆動する超小型電池を提供する。飲み込んだ後、長時間十分な電力供給が出来る発電素子であり、飲み込み型デバイスを駆動させることが出来るので体内センサーなどに利用出来る。
- 医療情報モニタリング用のバイオセンサー
- 早期ガン診断、糖尿病など疾病センサー

## 実用化に向けた課題

- 現在、擬似胃液中で長時間の発電が可能なこと、さらにセンサー駆動および情報送信に十分な電力供給が出来ることまで確認済み。
- 今後、動物実験データを取得し、実際に飲み込んだ後の発電とセンサー駆動を確認したい。
- 実用化に向けて製造プロセスの簡素化・高速化を図り超小型電池をオンデマンド製造出来る3Dプリンティング技術などの適用を検討する。

## 企業への期待

- 製品化の低コスト化に関しては、既存製造ラインの活用により克服できると考えている。
- バイオセンサーの技術を持つ、医療系企業との共同研究を希望。
- また、ヘルスケア、バイオエレクトロニクス、健康医療分野への進出を考えている企業には、本技術の応用製品が有効と思われる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：発電池用の負極、胃酸電池、金属イオン二次電池、システム、及び、電池の使用方法
- 出願番号 : 特願2019-034587
- 公開番号 : 特開2020-004700
- 登録番号 : 特許第6656697号
- 出願人 : 国立大学法人東北大学
- 発明者 : 本間格

# 産学連携の経歴

- 2005年-2006年 A社と高性能電池の共同研究実施
- 2009年-2015年 JST-CREST事業に採択
- 2011年-2012年 B社とグラフェン素材の共同研究実施
- 2013年-2017年 産学連携イノベーション推進事業に採択（参画企業約30社）
- 2012年-2018年 産学連携コンソーシアム研究開発にてC社,D社,E社と電池材料および新型電池デバイス開発の共同研究
- 2020年- F社と新型電池デバイス開発

# お問い合わせ先

**東北大学**

**産学連携機構 総合連携推進部**

**TEL 022-795-5274**

**FAX 022-795-5286**

**問い合わせ専用URL**

**<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/information/gijutsu/>**

**e-mail [liaison@rpip.tohoku.ac.jp](mailto:liaison@rpip.tohoku.ac.jp)**