

# 完全に体内で分解する 可食ワイヤレス生体情報センサ

慶應義塾大学 理工学部 機械工学科  
尾上 弘晃

電気通信大学 情報理工学研究科  
菅 哲朗

2021年12月16日

# 経口摂取型電子デバイス

## ◆ Gastrointestinal disease

- gastroesophageal refluxitis
- colorectal cancer etc

Number of patients in Japan  
**1.38 million / year**

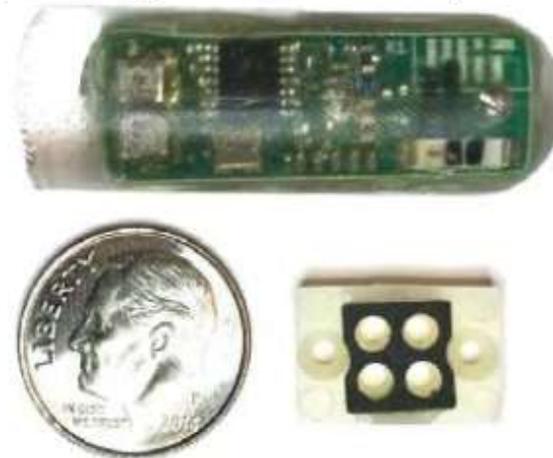
## ◆ Ingestible sensor

### Capsule endoscope



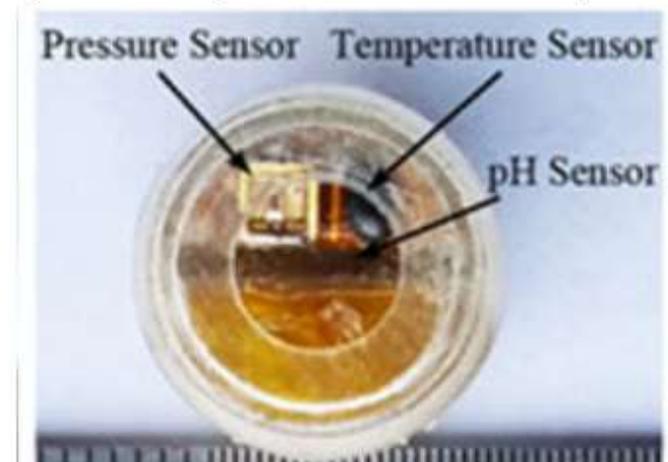
J L Toennies, et al., *Mechanical Engineering Science*, 224, 1397-1414, 2009

### Hemoglobin sensor



Mimee, et al., *Science*, 360, 915-918, 2018

### pH and pressure sensor



M. S. Arefin, et al., *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, 22,87-97, 2018

Requirements : ✓ The swallowable size

✓ The wireless communication between inside and outside of the

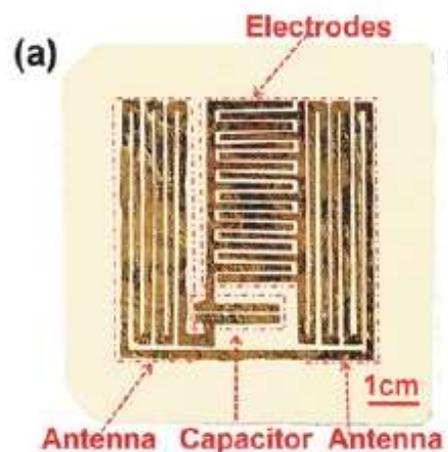
However, it contains substances that are biotoxic to the human body

→ The risk of *in vivo* retention

# 可食材料による電子素子

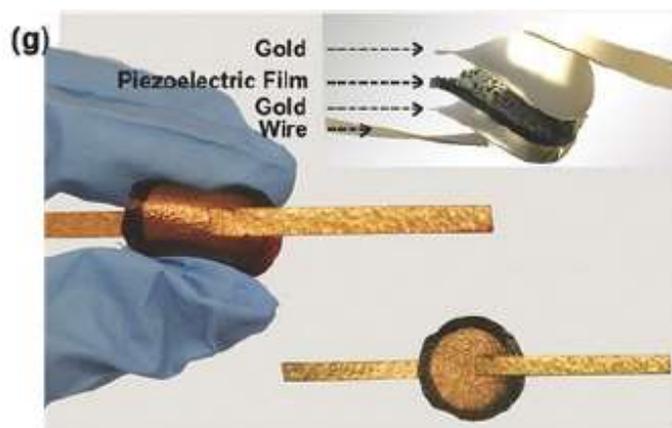
◆ Edible sensor : use food materials as electric circuits

pH sensor on a sugar paste substrate



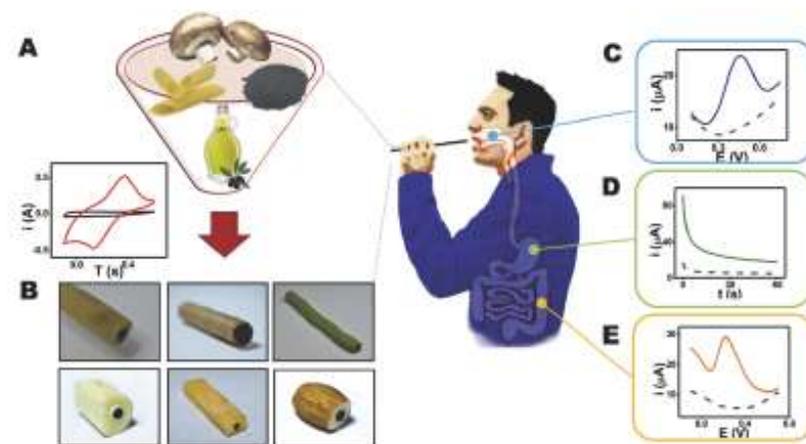
W. Xu, et al., *Adv. Mater. Technol.*, 2, (2017), 1700181

Piezoelectric microphone on a gelatin/broccoli film



W. Xu, et al., *Adv. Mater. Technol.*, 2, (2017), 1700181

Electrochemical sensors using edible carbon pastes



J. Kim, et al., *Adv. Healthcare Mater.*, 6, (2017), 1700770

- ✓ Biosafety
- ✗ The swallowable size
- ✗ Fully integrated monitoring system



Edible sensors, which is integrated and swallowable like ingestible sensors, is required.

# 食品材料のみで構成された 蛍光撮取可能なワイヤレスカプセルセンサ



材料: 食品

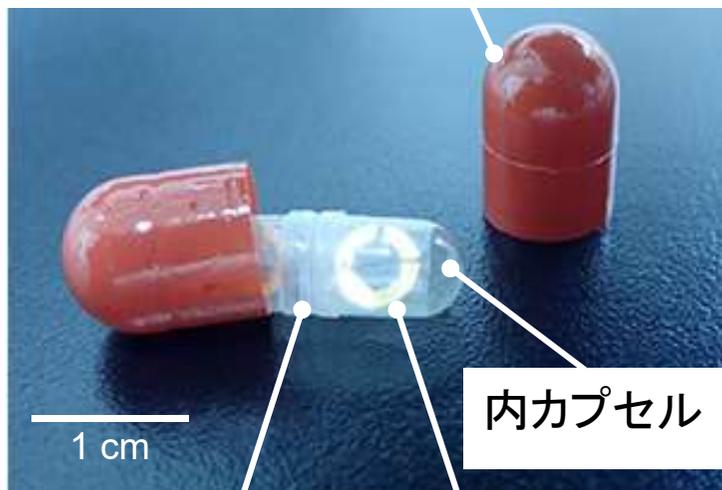
大きさ: 薬のカプセル(経口可)

生体に安全な  
カプセルセンサ

- ✓ 患者への負担小
- ✓ 生体内の直接モニタリング
- ✓ バッテリー不要
- ✓ 滞留のリスクなし

# ワイヤレス通信の原理

腸溶性コーティング外カプセル



内カプセル

腸内細菌で  
分解するシート

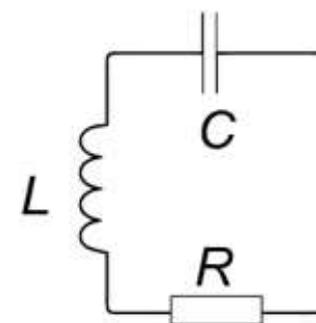
可食  
アンテナ

ワイヤレス通信の原理



等価回路

=



LC 共振回路

## セットアップ

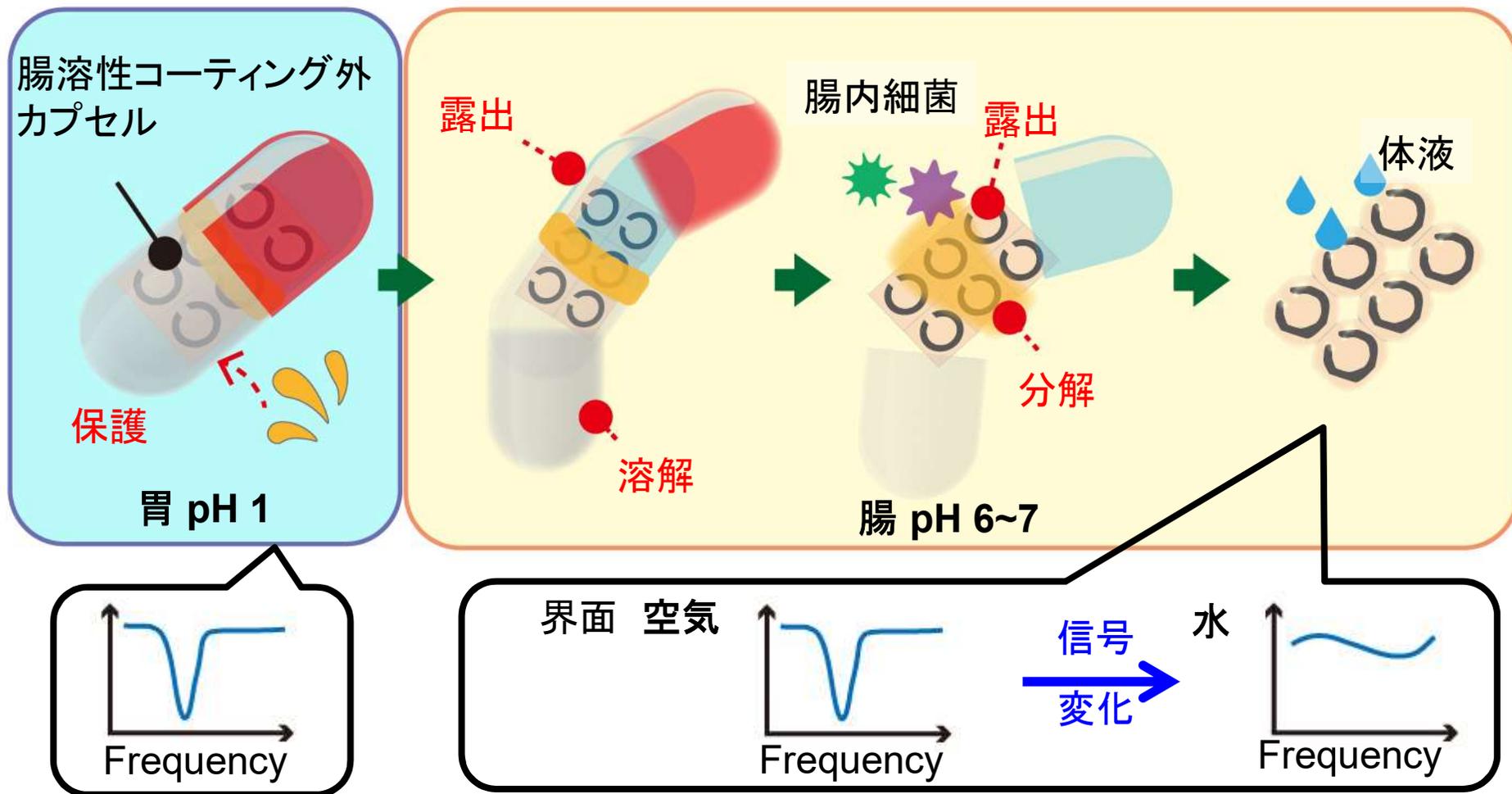


数GHz 帯  
電磁波



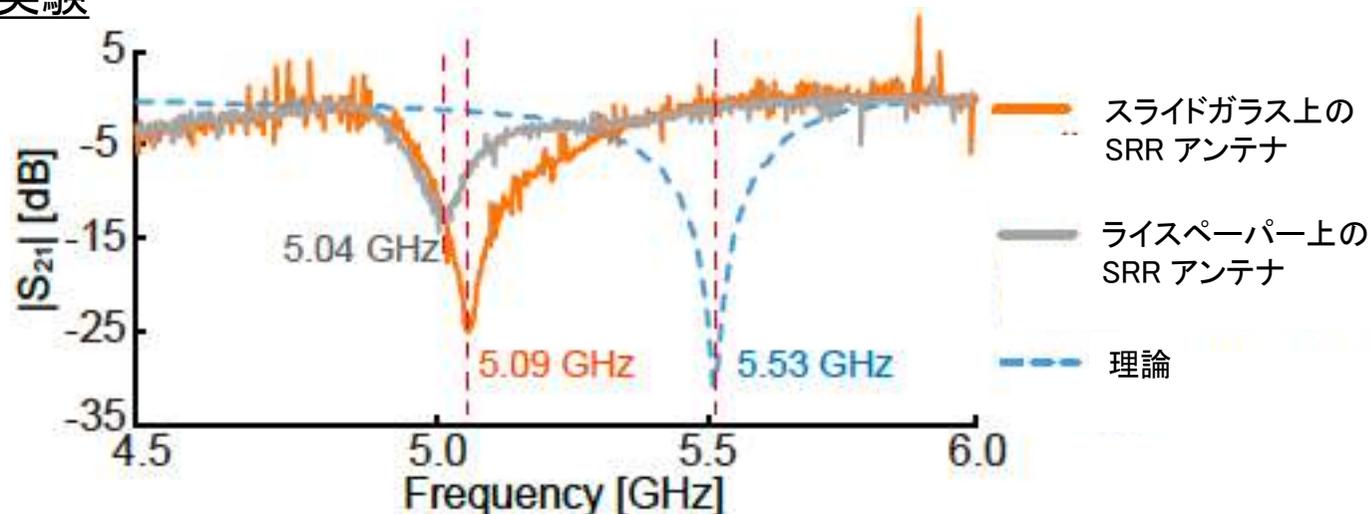
# センサの検出原理 (腸内細菌の活性の場合)

## 検知原理



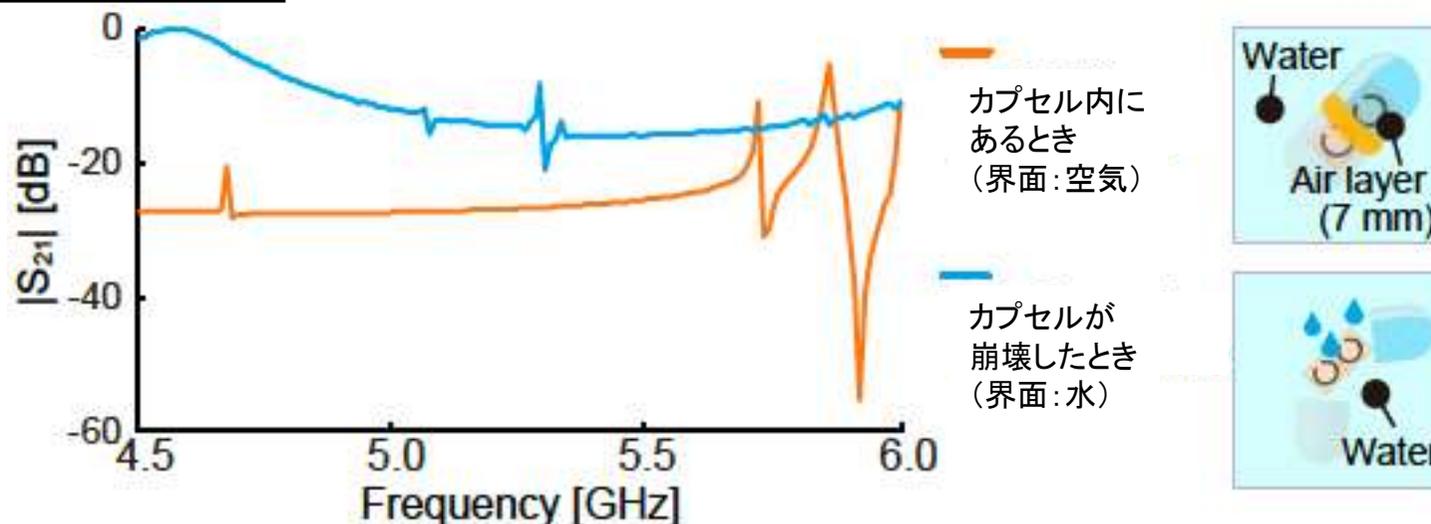
# 電磁波によるカプセル溶解検出実験

## 実験



可食SRRアンテナの性能を確認

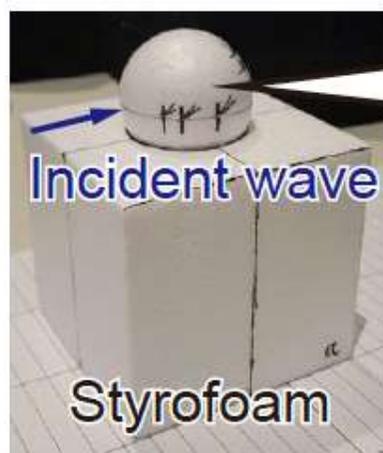
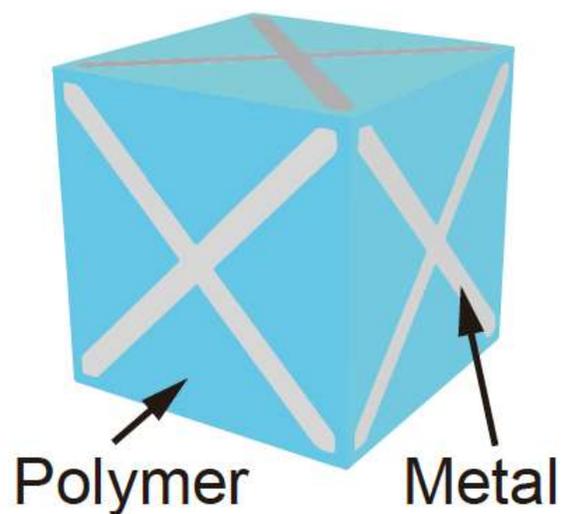
## シミュレーション



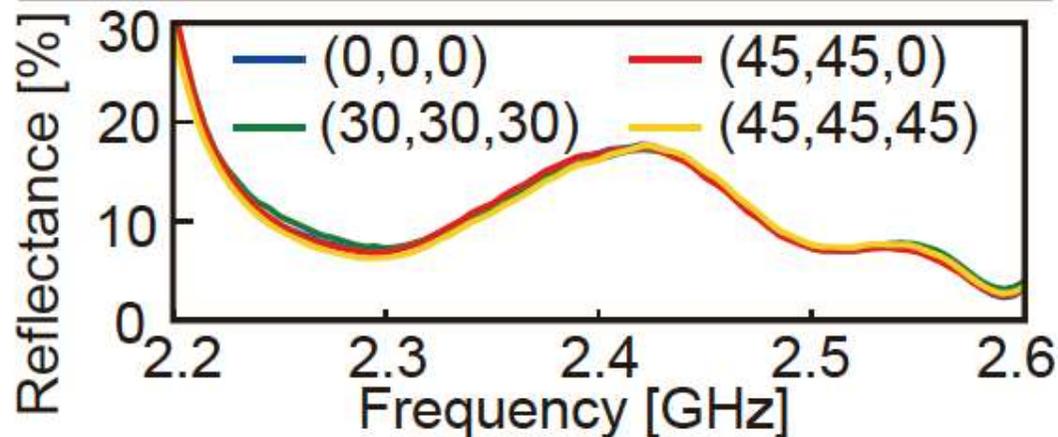
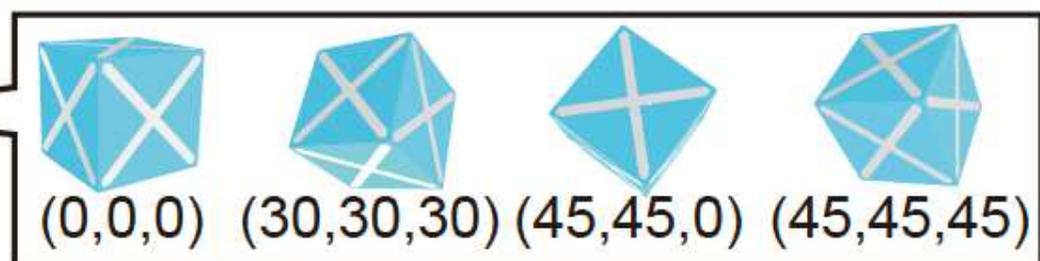
界面の変化を利用することでワイヤレス計測が可能

# センサの姿勢によらないアンテナ設計

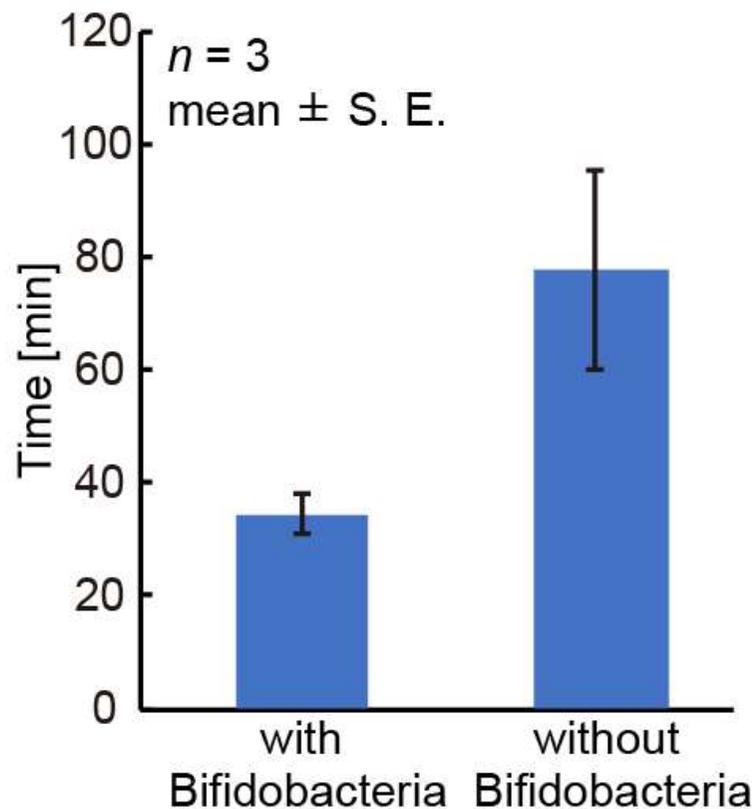
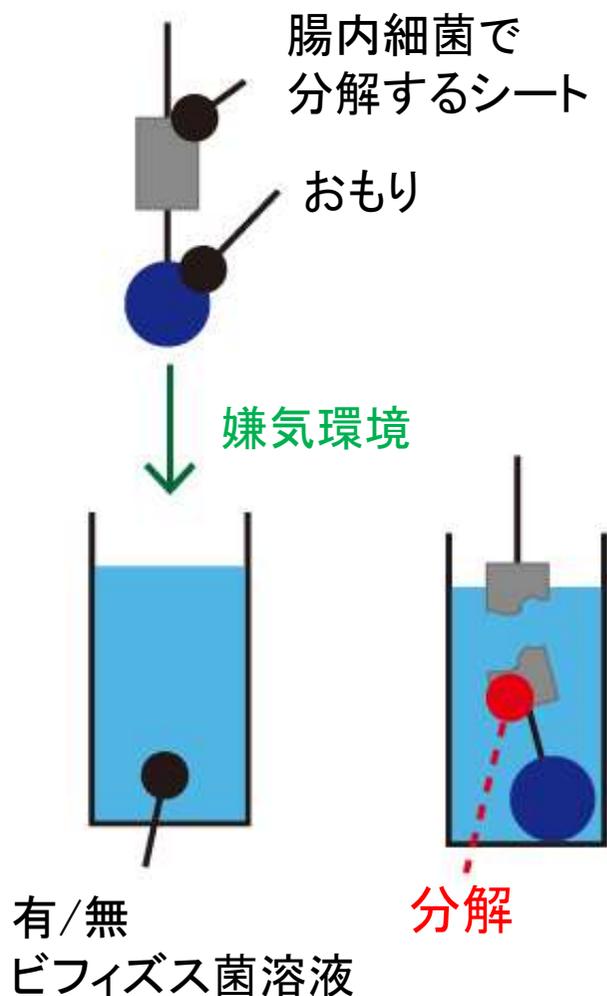
Isotropic metamaterial (IMM)



Spinning ball with IMM



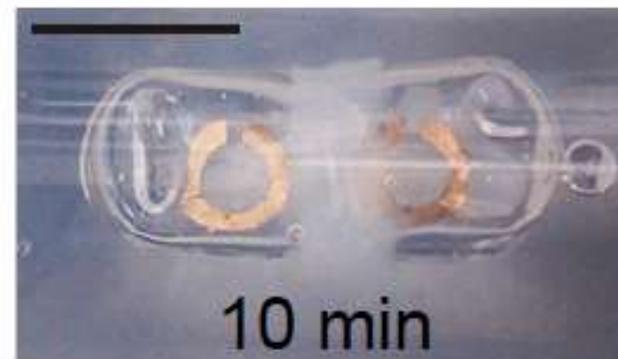
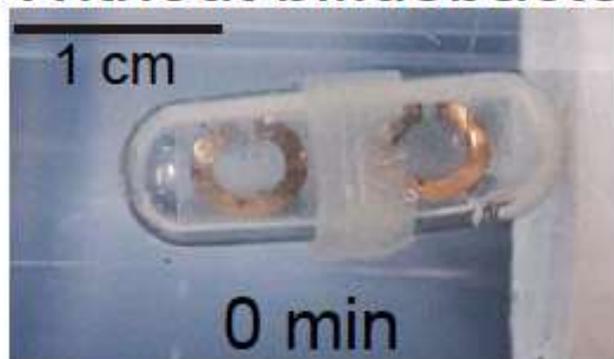
# 細菌によるカプセル分解実験



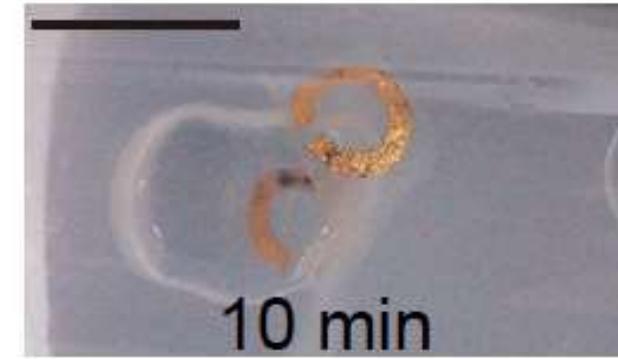
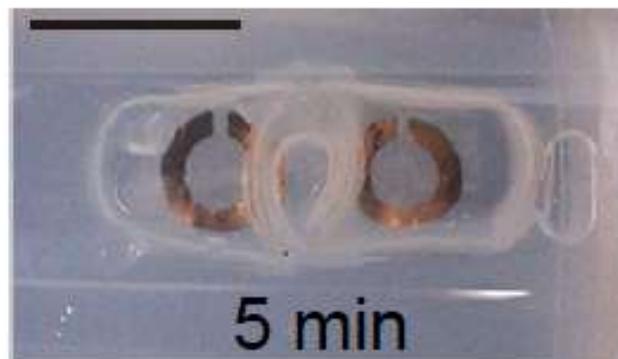
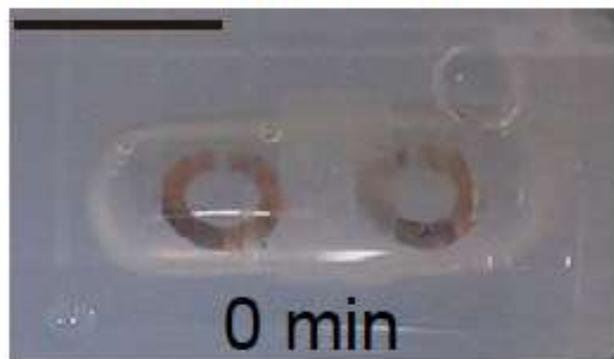
腸内細菌で分解するシートはビフィズス菌の検出に有効な物質であることを確認

# 細菌によるシート分解実験

## A Without bifidobacteria



## B With bifidobacteria



## 結論と今後の課題

- ◆ すべて可食材料のみで構成された，生体内でのセンサの分解速度をワイヤレスで検出可能なカプセル型センサ
- ◆ スプリットリング共振器によるGHz帯電磁波の反射・透過特性の検出を確認
- ◆ 腸内細菌を想定して，ビフィズス菌によるカプセルの崩壊を確認
  
- ◆ In vitroでのセンサの設計と特性評価
  - ◆ より最適な構造（3次元形状のアンテナ）
  - ◆ ビフィズス菌の量や活性の差が検出可能かどうか
  - ◆ 電磁波による生体内を模擬した環境での感度）
- ◆ 装着型の送受信装置の開発
- ◆ 腸内細菌検出以外へのターゲットの探索

## 新技術の特徴・従来技術との比較



J L Toennies, et al., *Mechanical Engineering Science*, 224, 1397-1414, 2009



- 完全に可食材料のみで構成されており，安全性が高い（ワイヤレス・バッテリーレス）。
- シンプルな構造とデザインであり，コーティング材料を変えることで，様々な検出対象に応用展開可能。

## 想定される用途

- 消化管内の生体情報の予測
  - 腸内細菌活動
  - 体内深部温度
  - 消化管内pH
- スマートフォンによる検知が可能となれば,
  - 消化管内の定期的な健康診断
  - 消化管内疾患の家庭における簡易的な1次診断
- 薬物の投与や除法と組み合わせたスマート錠剤

## 企業への期待

- 本技術の関連分野において、実用化の経験・実績を持つ、企業との共同研究を希望
- カプセル錠剤などの開発メーカー
- 健康モニタリングデバイスなどの開発メーカー
- 無線機器・センサ（パッシブRFIDなど）開発メーカー

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : センサデバイス
- 出願番号 : 特願2021-032580
- 出願人 : 学校法人慶應義塾  
国立大学法人電気通信大学
- 発明者 : 尾上弘晃, 稲見文香, 堀克紀,  
菅哲朗, 古澤岳, 末次涼平, 矢野達也

## 産学連携の経歴

- 2010年-2013年 JST ERATOプロジェクト（竹内バイオ融合）において、企業とポンプシステムの共同研究を実施
- 2019年-2020年 大手材料メーカー企業と再生医療用デバイスの共同研究を実施

# お問い合わせ先

慶應義塾大学

研究連携推進本部 知的資産担当

T E L 03-5427-1439

F A X 03-5440-0558

e-mail [toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp](mailto:toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp)