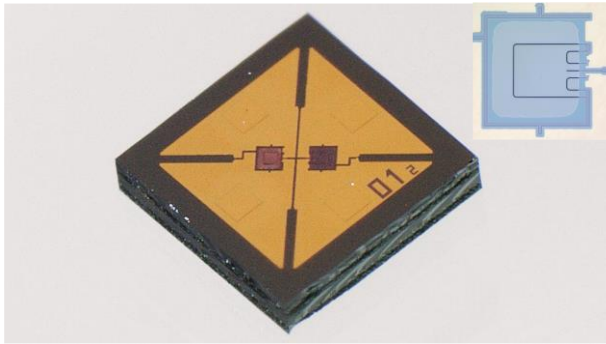


MEMS差圧センサを利用した 計測技術

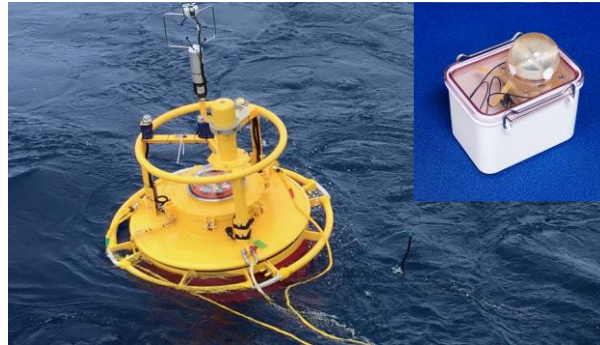
慶應義塾大学 理工学部 機械工学科
専任講師 高橋英俊

自己紹介

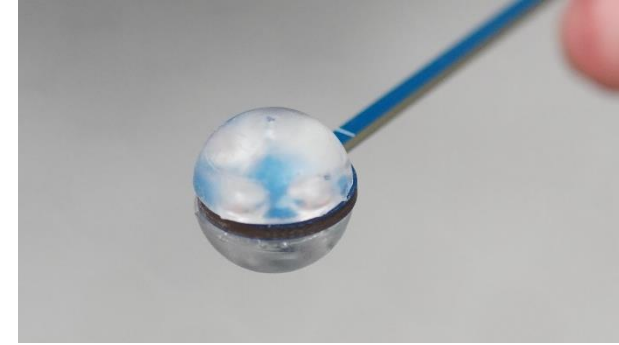
- 機械工学に基づいたセンサデバイスの研究開発
- MEMSのピエゾ抵抗型力センサの応用



ピエゾ抵抗型カンチレバーを用いたMEMS差圧センサ



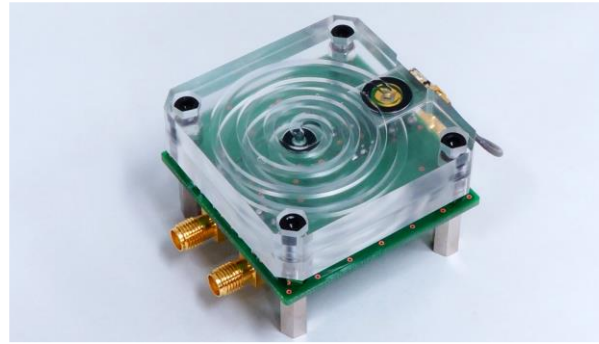
大気圧変化を利用した高度センサ



球形状の風速・風向センサ



ニードル型内圧センサ



スパイラル管路を利用した角加速度センサ

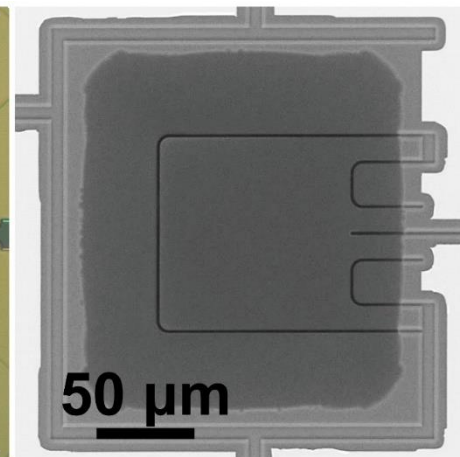
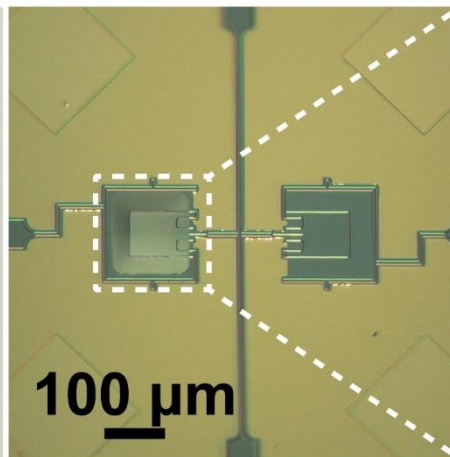
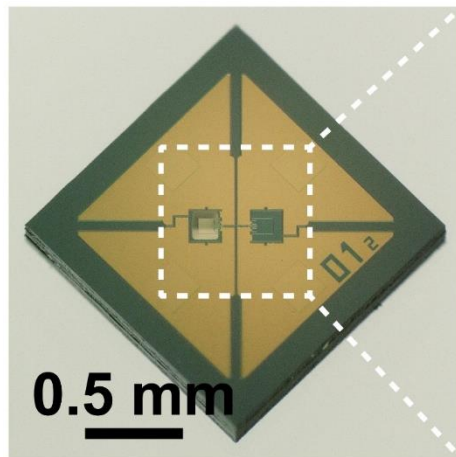
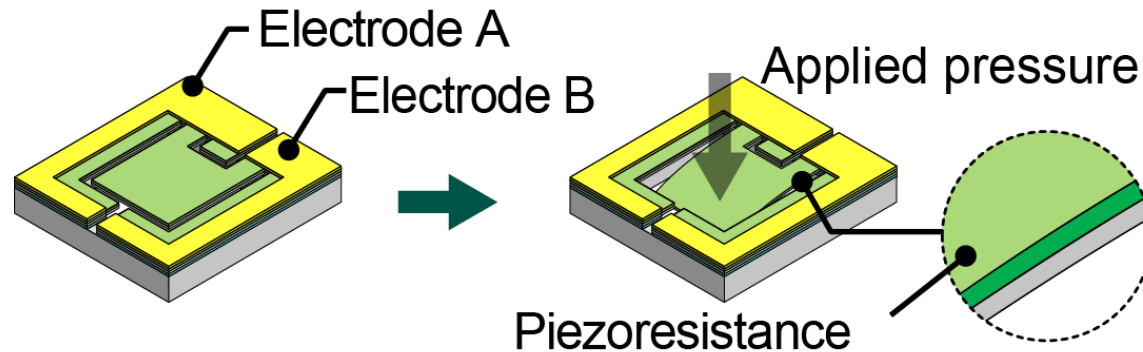
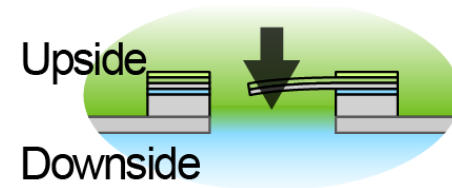


HR共鳴器を利用した音響センサ

ピエゾ抵抗型カンチレバーを用いたMEMS差圧センサ

A-B Resistance : R

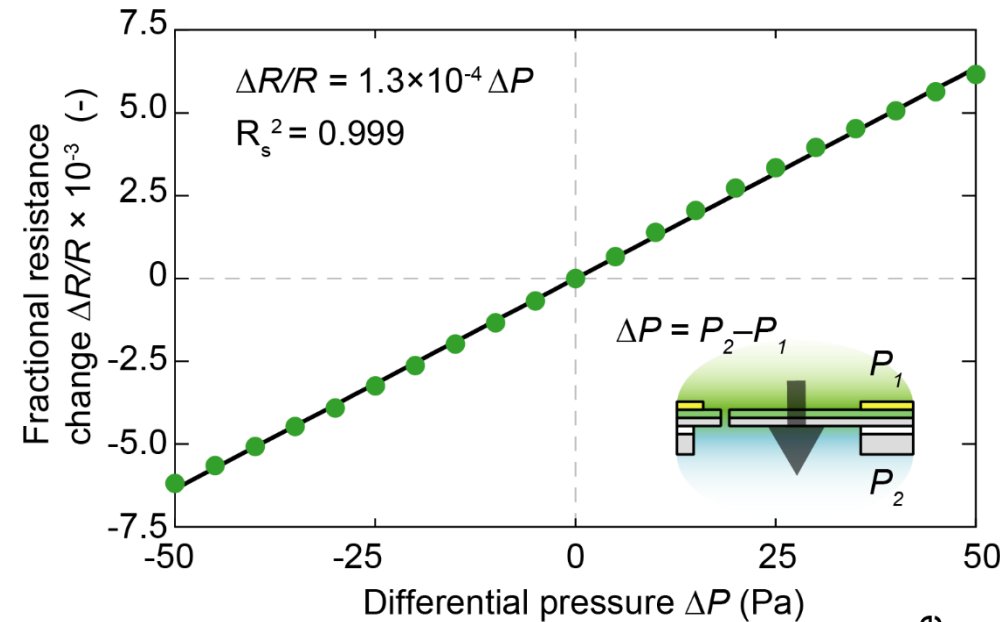
$$R = \Delta R + R_0$$



■ ピエゾ抵抗型カンチレバー

- センサ上面と下面の圧力差により, 表面の抵抗値が変化

MEMS差圧センサの応答特性



■ 圧力差に対する応答

圧力計測領域: -50 Pa ~ +50 Pa

感度: $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}^{-1}$

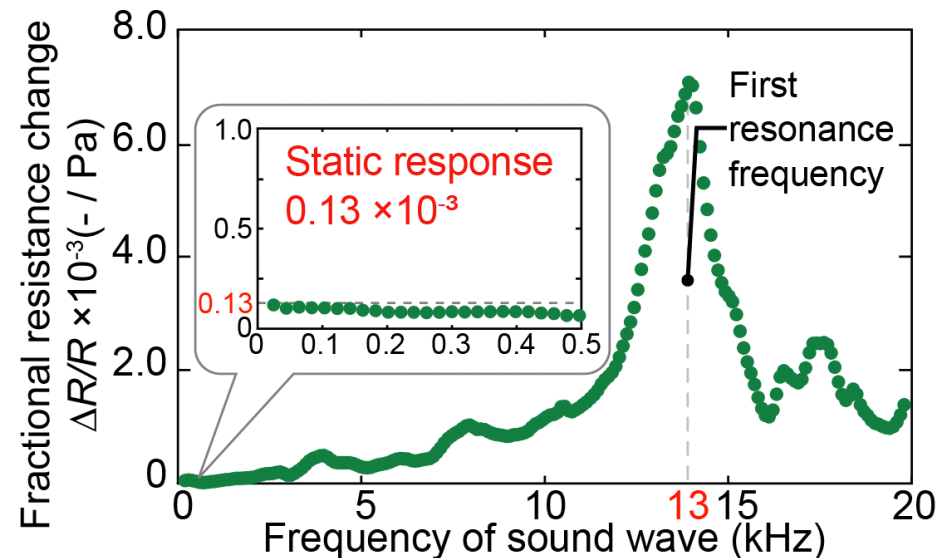
分解能: 0.05 Pa

■ 周波数特性

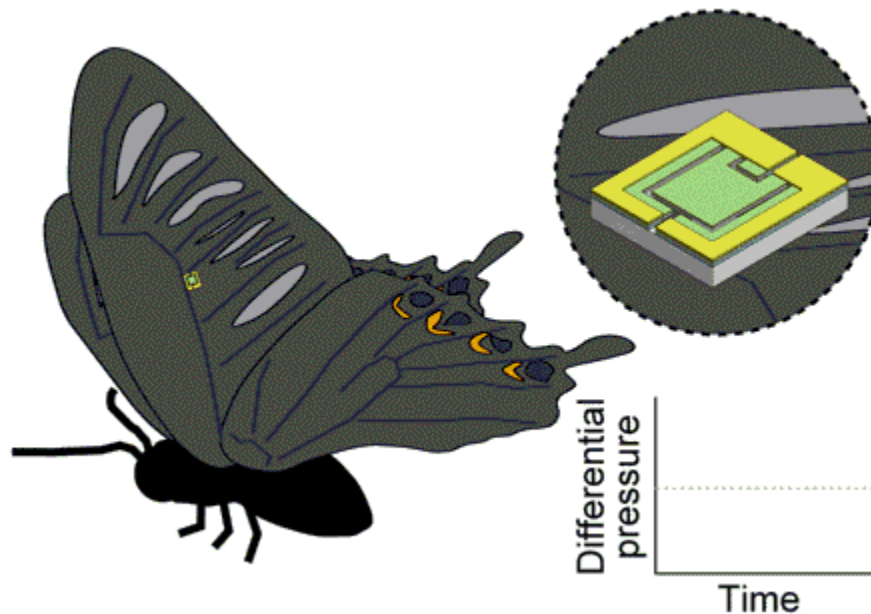
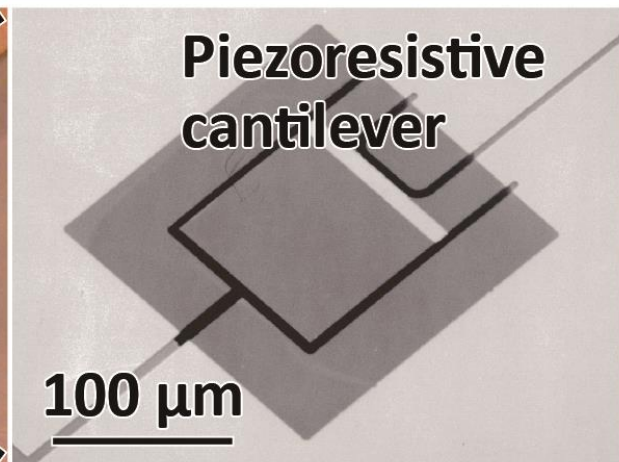
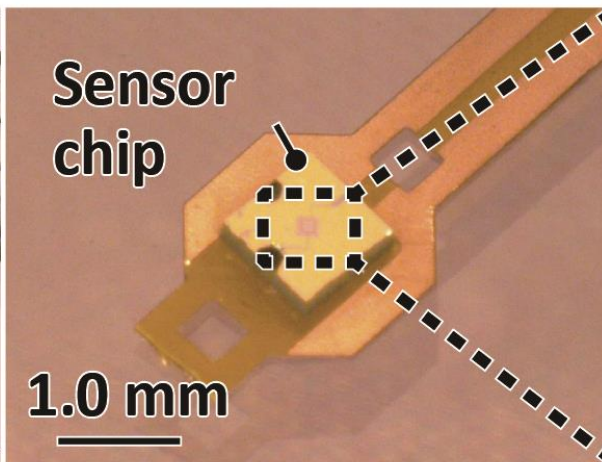
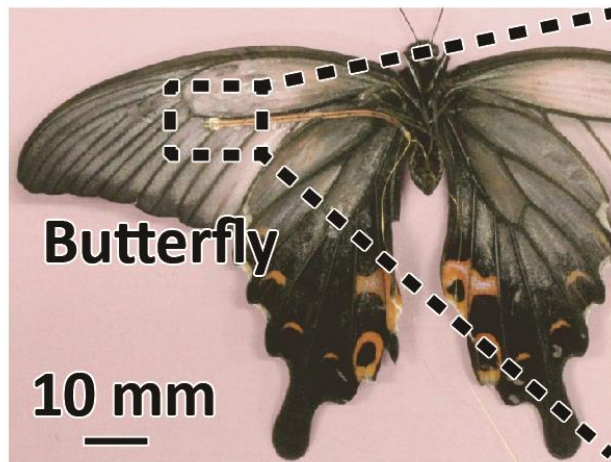
音波に対する応答

低周波領域: 定圧と同等の感度

共振周波数: 13 kHz

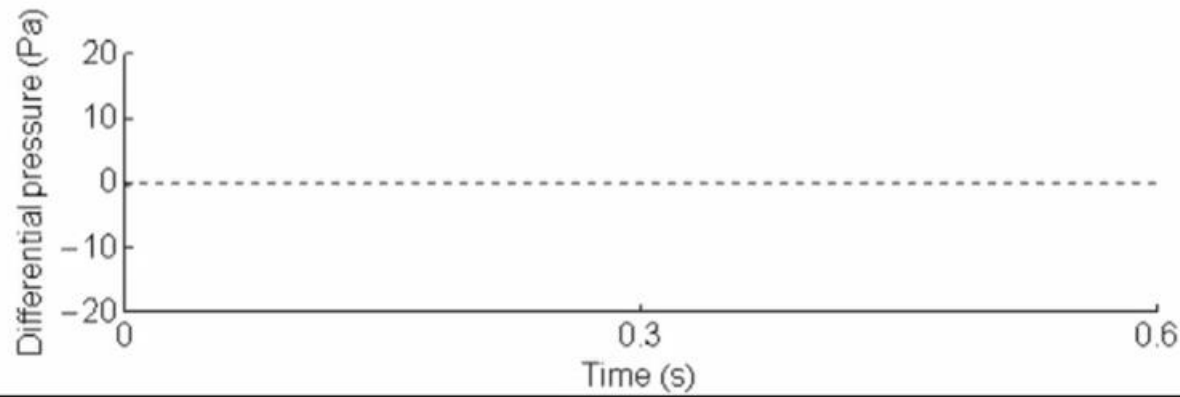


昆虫の羽ばたき飛行時の翼面圧力差計測

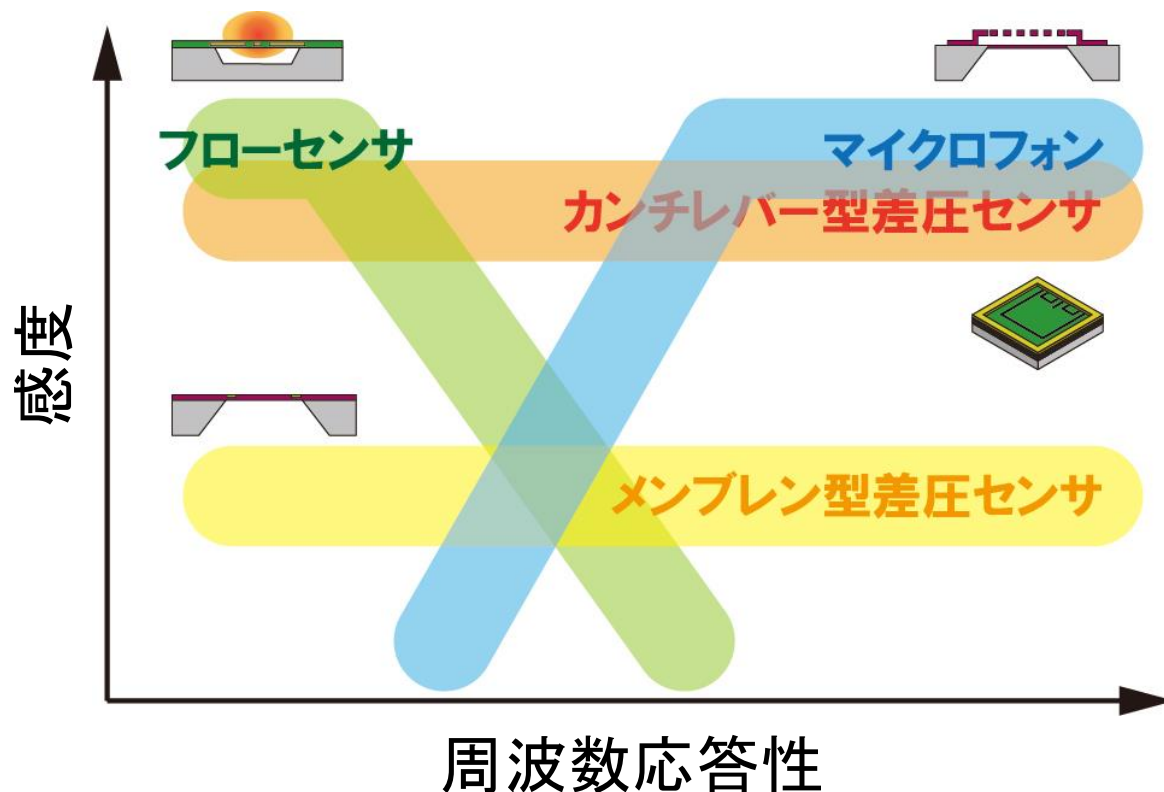


- 差圧センサをチョウの翼面に貼り付け、
- 翅の上面と下面に発生する圧力差を直接計測

離陸中の圧力差



従来の差圧センサ・マイクロフォンとの比較



- 従来のメンブレン型と比較して、機械的に変形しやすいため高感度
- フローセンサ型やマイクロフォンと比較して、定圧から高周波数領域まで同程度の感度で計測可能

大気圧変化を利用した高度センサ

差圧センサ下部に空気チャンバを配置

外圧とチャンバ内圧
の圧力差を検知 → 圧力差から
気圧変化を算出

カンチレバーまわりの空気漏れ

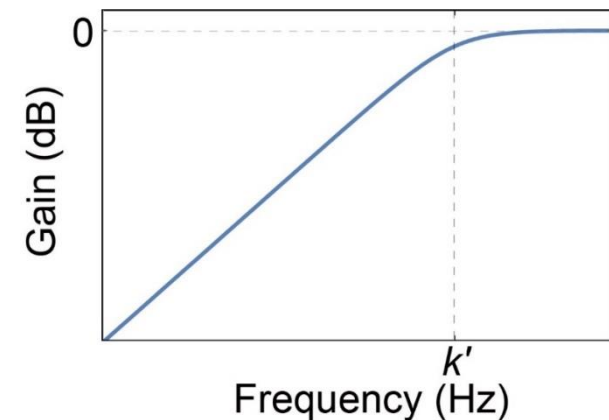
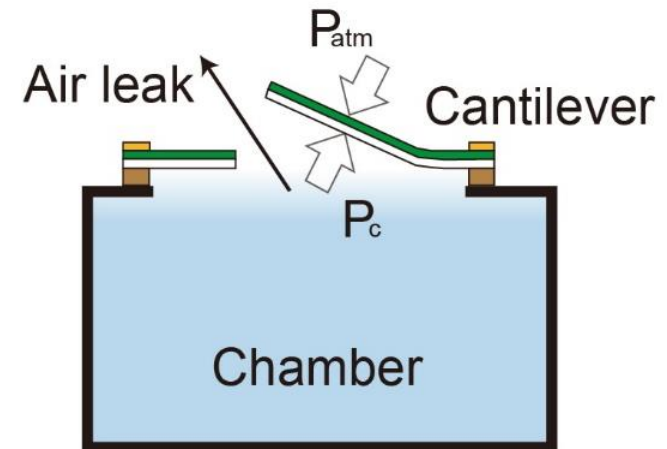
→低周波領域において、チャンバ内圧が大気圧に追従するため感度が低下

ΔP_{atm} , ΔP_c を入力, 出力とする
入出力システムの伝達関数は

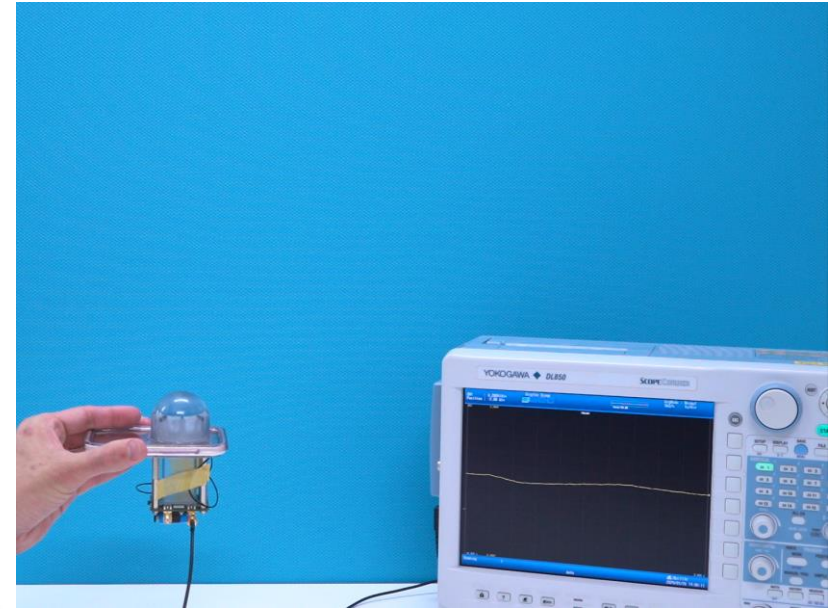
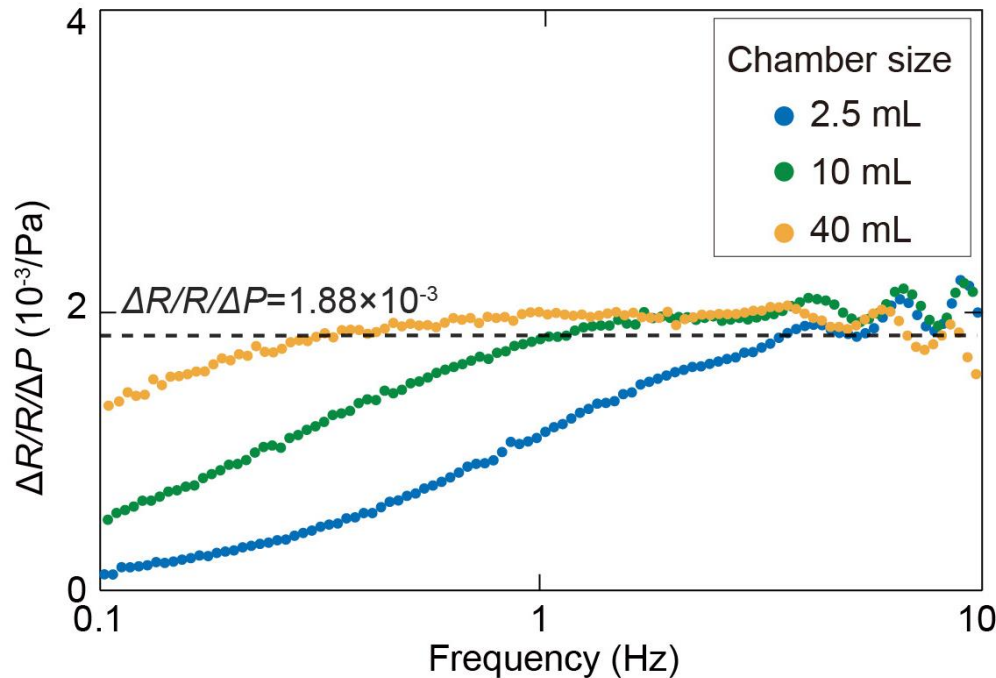
$$G(s) = \frac{s}{s+k}$$

k はチャンバサイズ V_c に依存

→ V_c を変化させることで周波数特性が変化

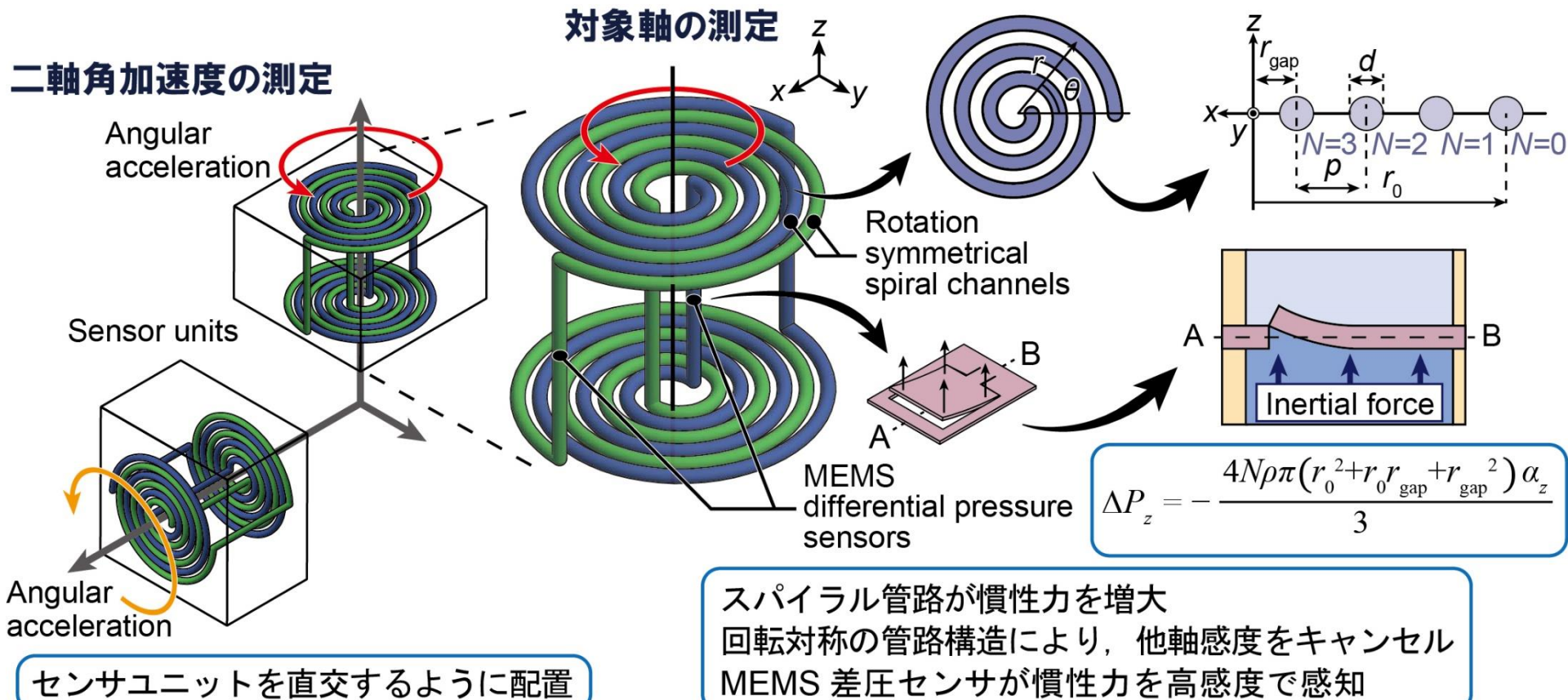


大気圧変化を利用した高度センサ

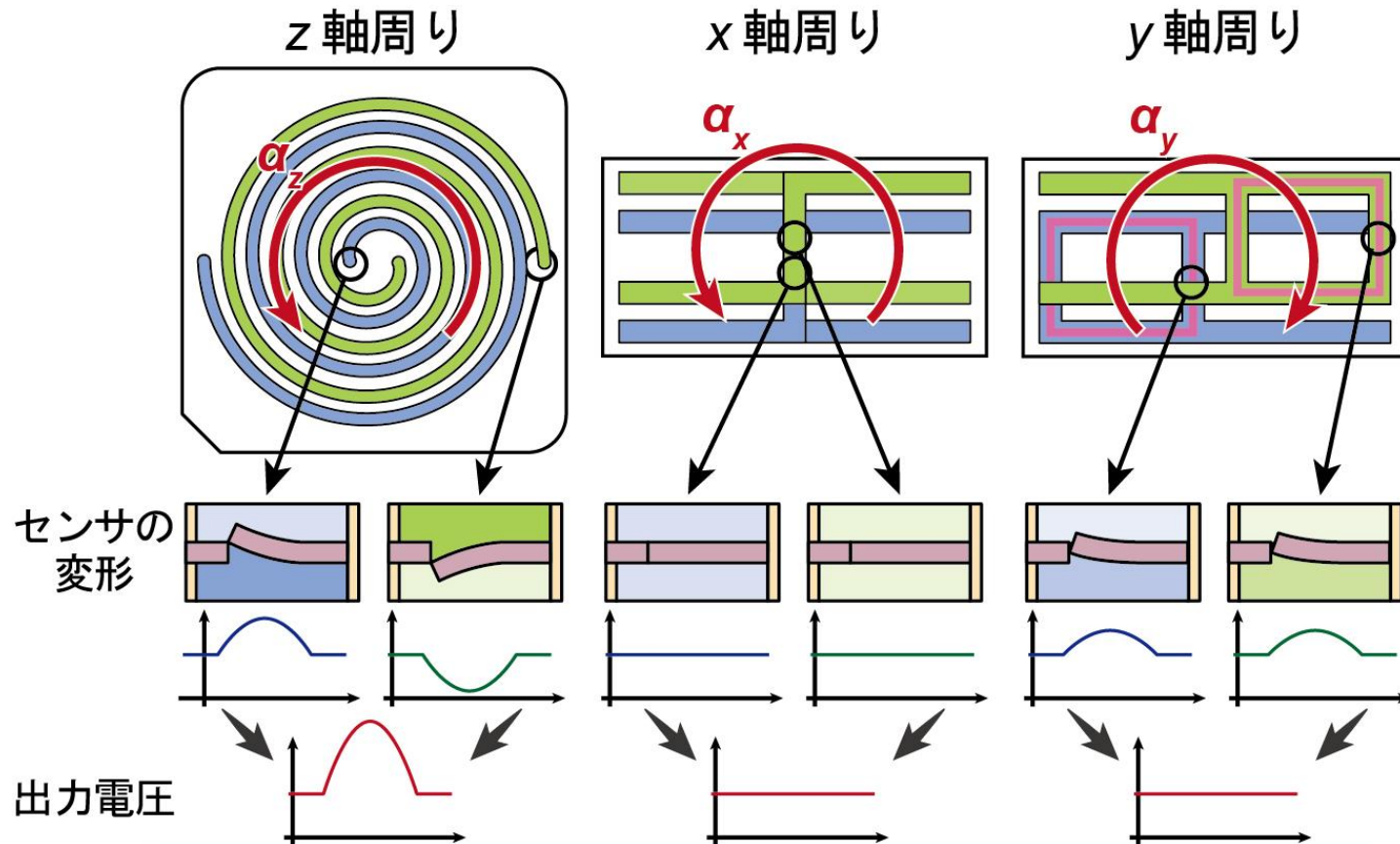


- チャンバサイズが大きいほどカットオフ周波数が小さくなる
- 0.1Hz以上のカットオフ周波数・高周波数においては差圧センサ感度に収束
- 機械的なハイパスフィルタの特性を有するため、天候などによるゆっくりとした大きな気圧変化(~10 kPa)に対して、反応しない
- カンチレバーの質量が小さいため、加速度にほとんど反応しない

スパイラル管路を利用した角加速度センサ



スパイラル管路を利用した角加速度センサ

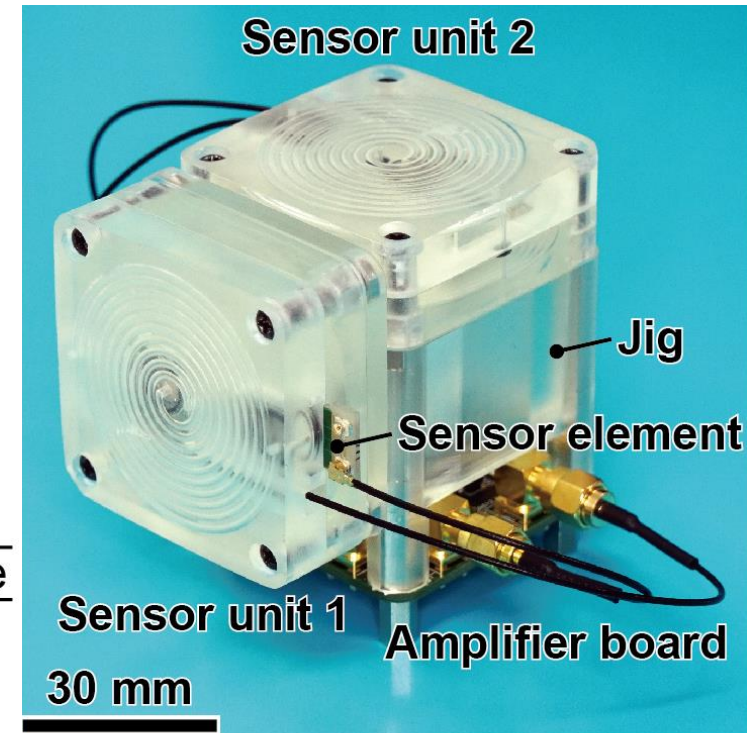
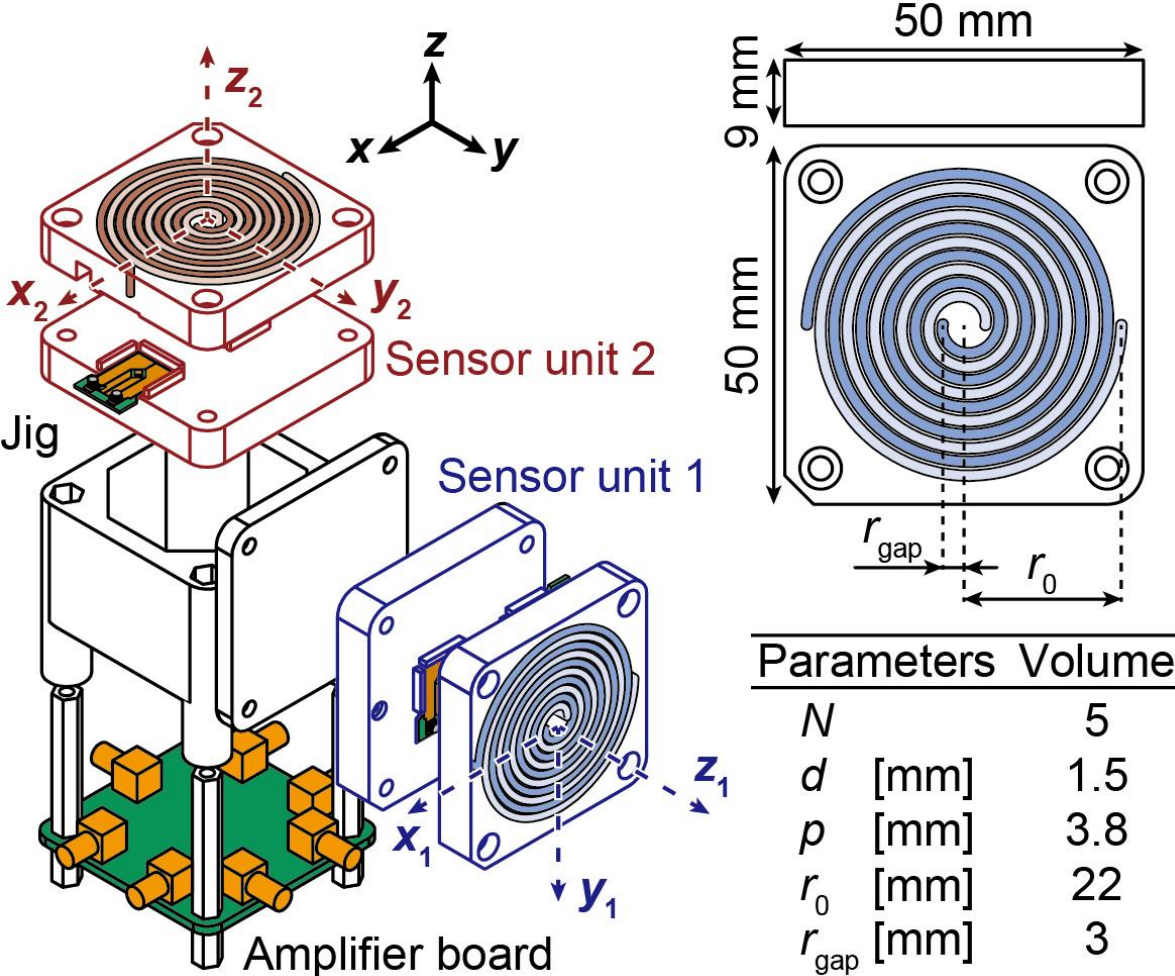


管路構造が、対象軸感度を増幅し他軸感度をキャンセル

センサの各軸の応答特性

- 2つのセンサ素子の差分として検出
- z 軸回りにのみ応答

スパイラル管路を利用した角加速度センサ

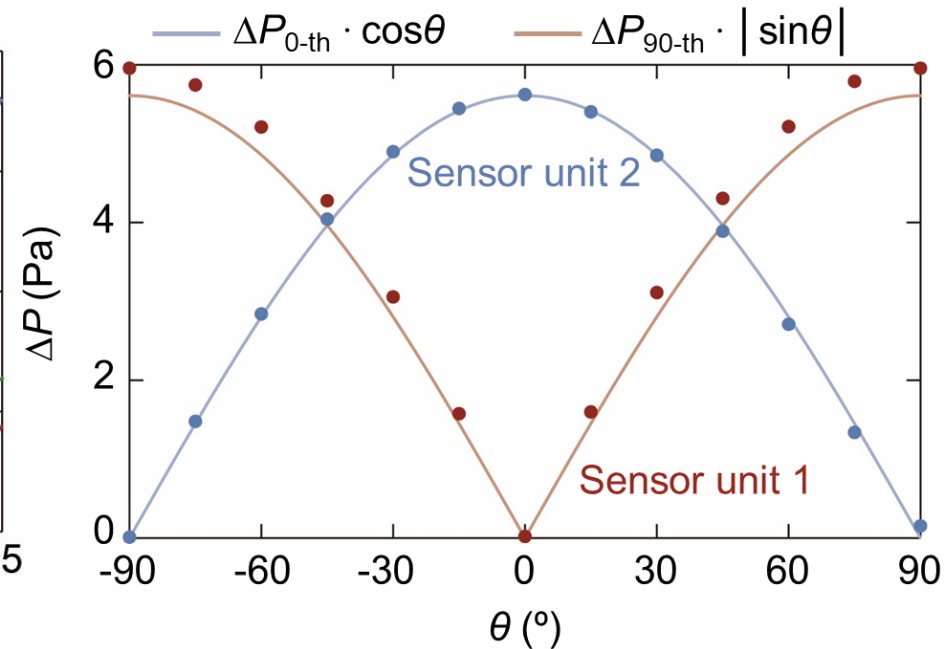
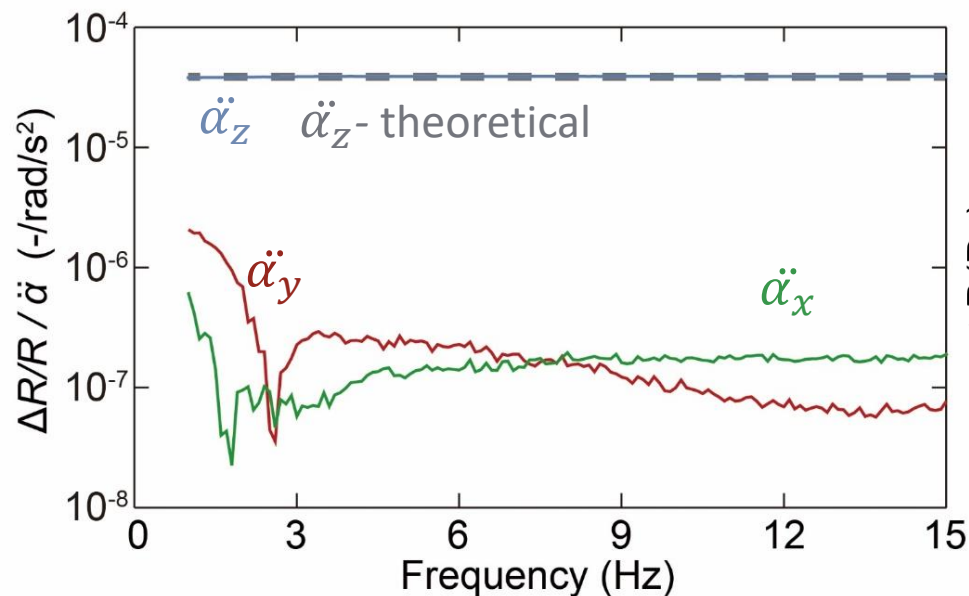


製作した二軸角加速度センサ

- センサ素子と治具を光造形3Dプリンタで造形
- 管路内に充填する流体として空気を使用

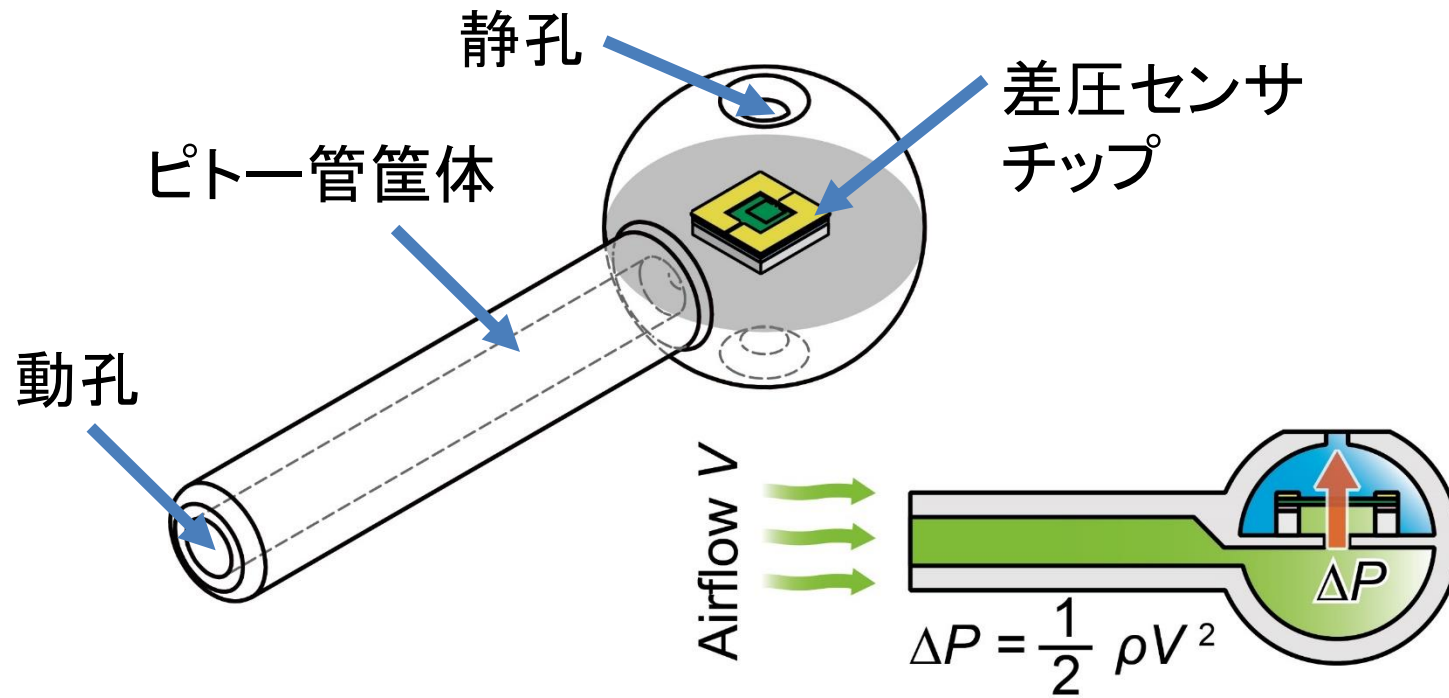
スパイラル管路を利用した角加速度センサ

周波数応答と他軸感度



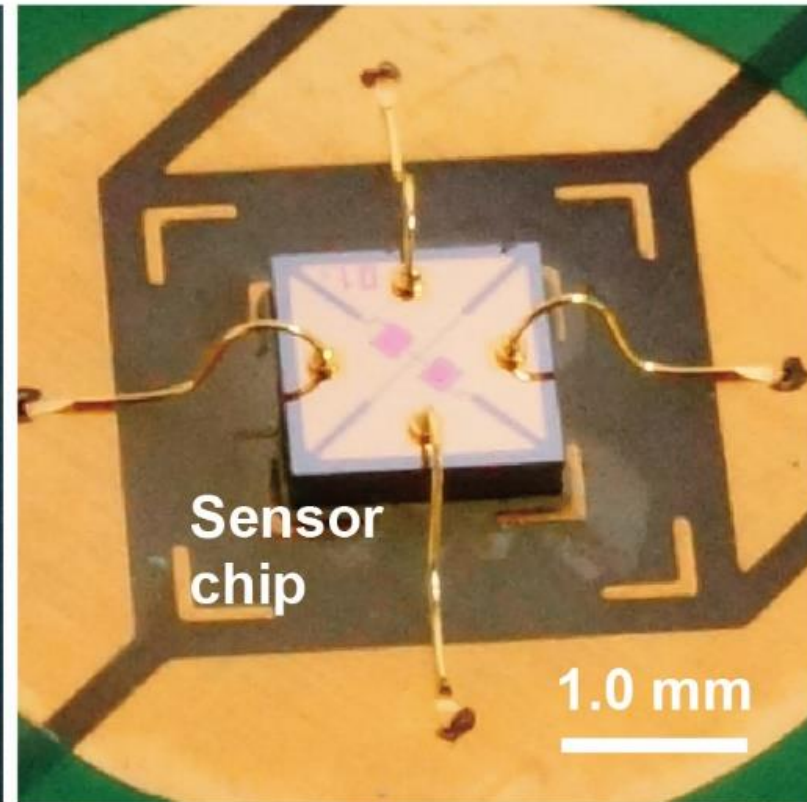
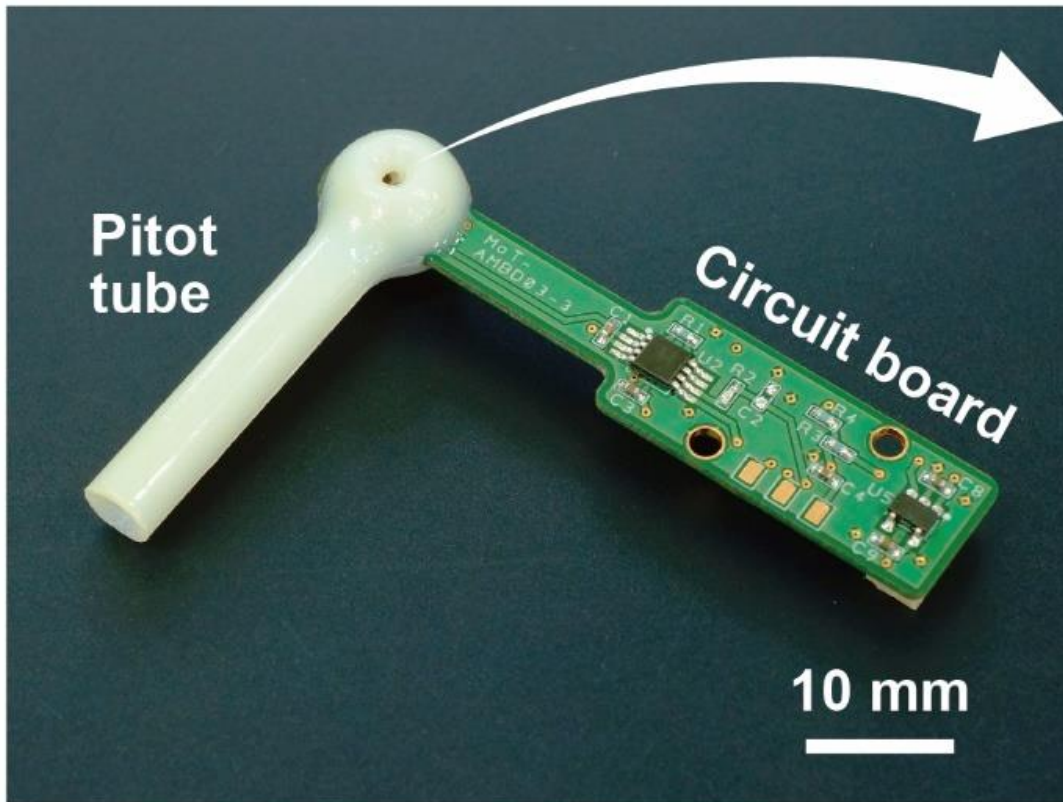
- z軸は感度一定で、ほぼ理論通りに応答
- 他軸感度は、対象軸感度の1/300程度
- 正弦曲線、余弦曲線に沿って、感度が増減

小型ピトー管



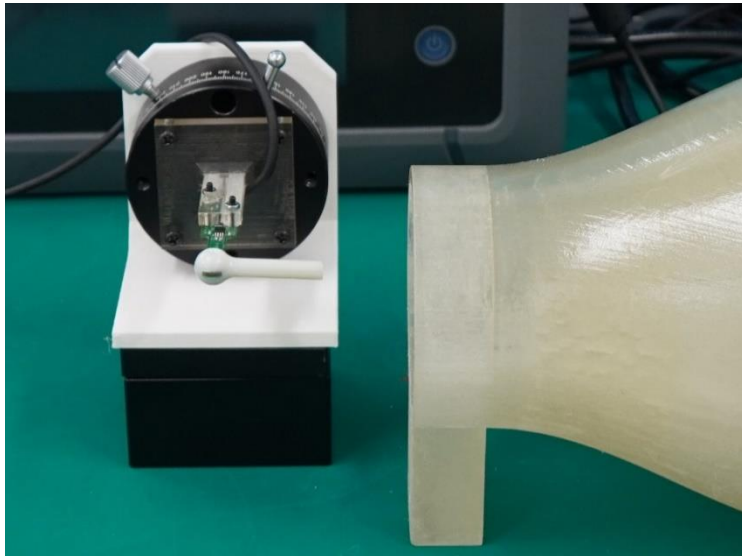
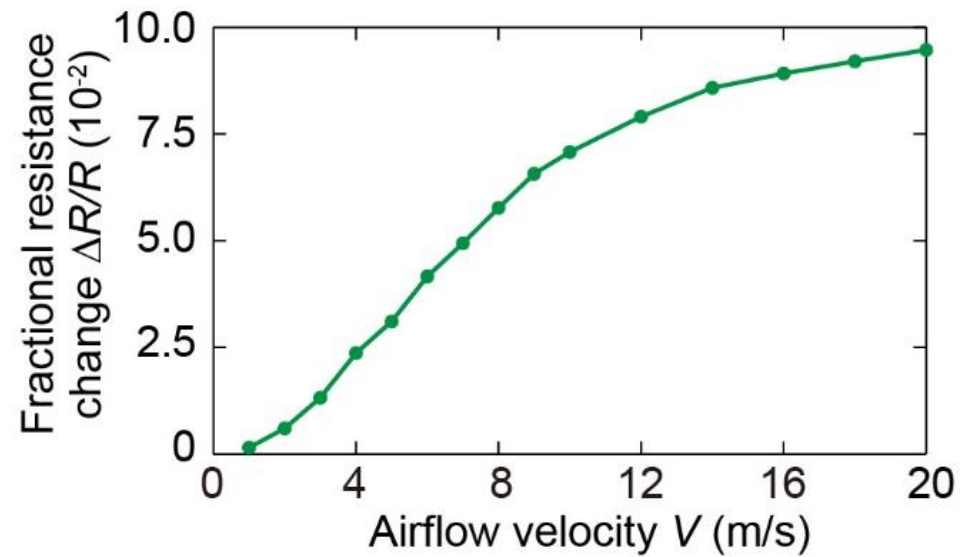
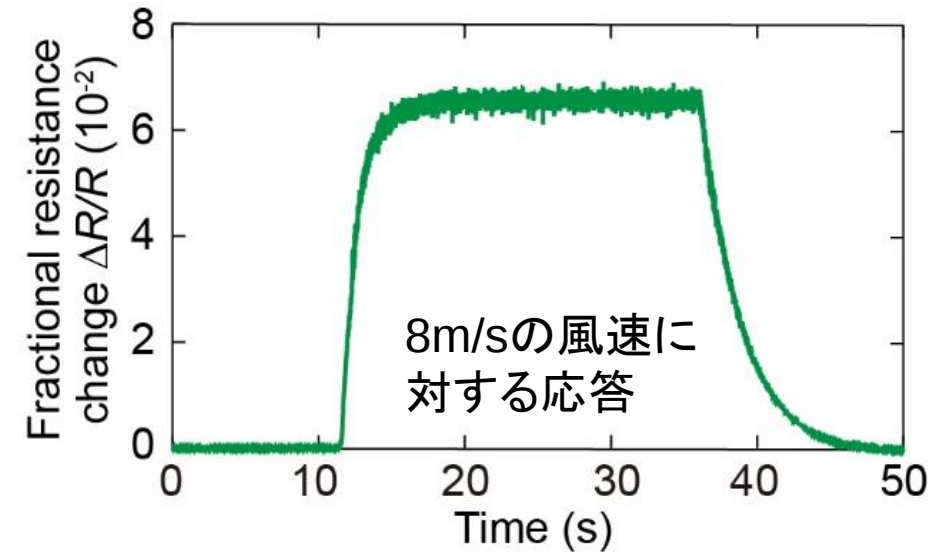
- ピトー管の管内に差圧センサのチップを配置
- 風が印加された際の動孔と静孔の圧力差を計測
- 高感度な素子により低速の風速を感度良く検知
- センサチップを管内に埋め込むことにより、小型のセンサを実現

小型ピトー管



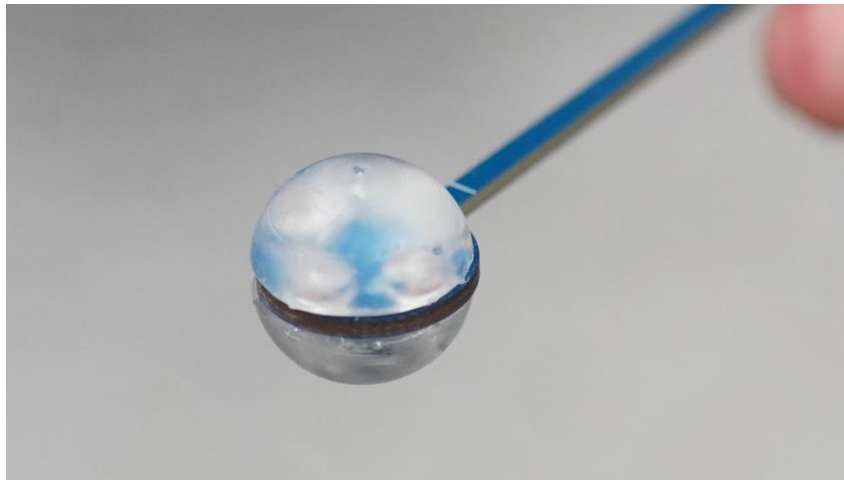
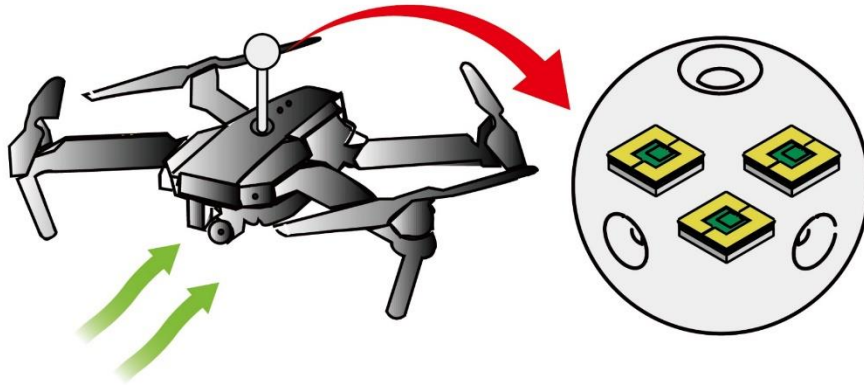
- 3Dプリンタにより筐体を作製
- センサ基板の先端にセンサチップを配置・筐体で挟み込む構造
- 筐体: 1 cm × 1 cm × 3.4 cm、基板: 1 cm × 0.5 cm × 5 cm
- 全体の重量: 2 g以下

小型ピトー管



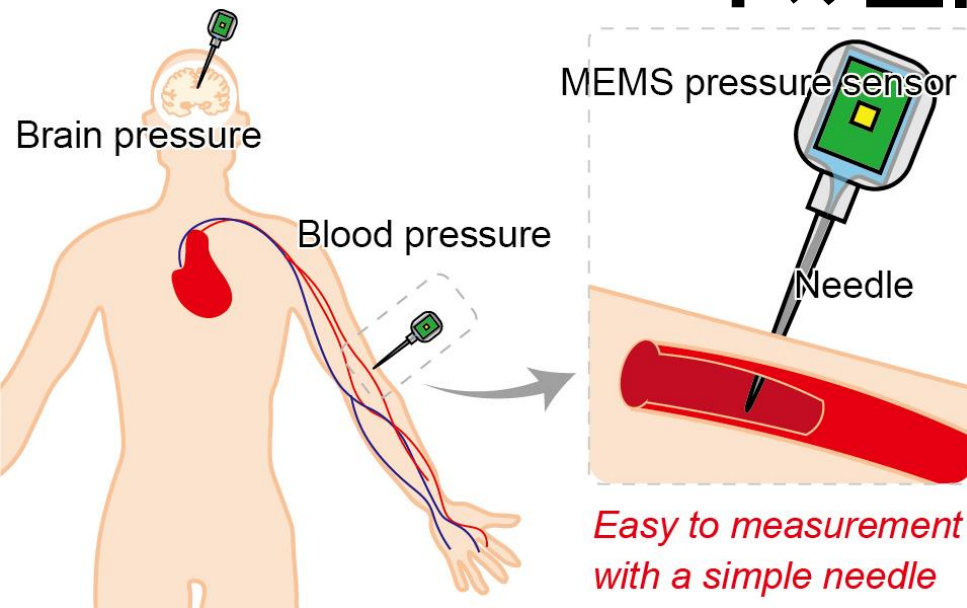
- 小型風洞によるキャリブレーション
- ノイズレベルで換算すると
 - 2-10m/s域において0.01m/s以下
 - 10-20m/s域において0.02m/s以下の分解能を持つ

球形状の風速・風向センサ

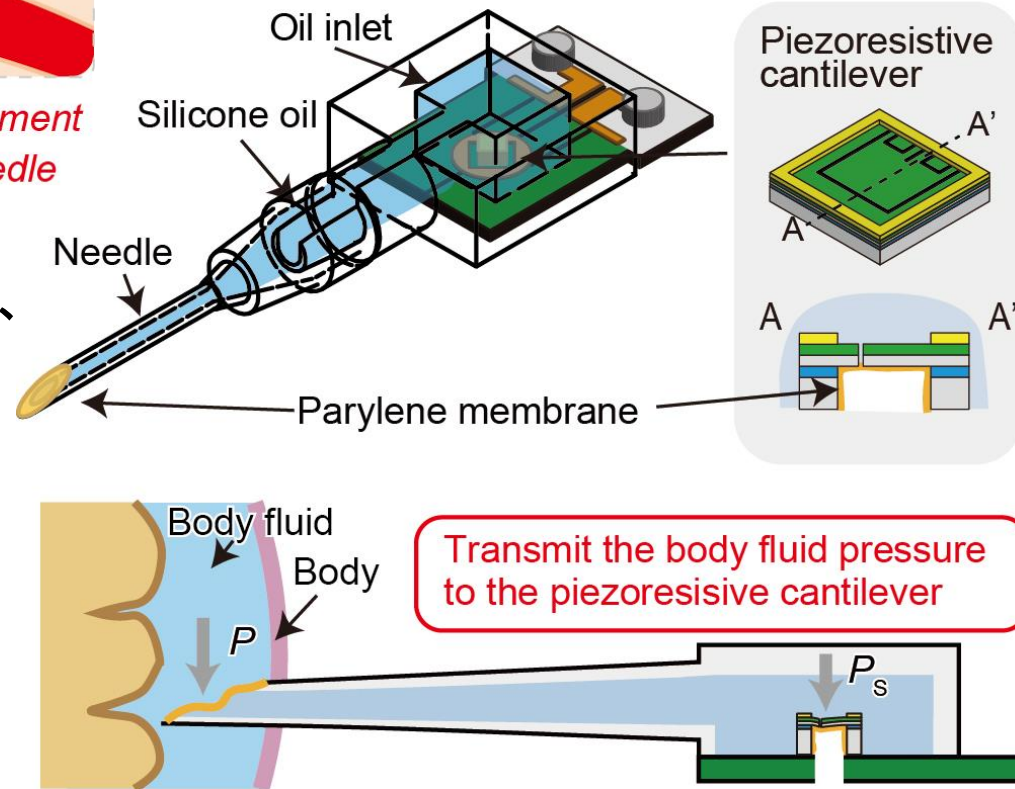


- ピトー管構造ではなく球状の構造
- センサ筐体内部に複数のMEMS差圧センサを配置
- 風速だけでなく風向も検出

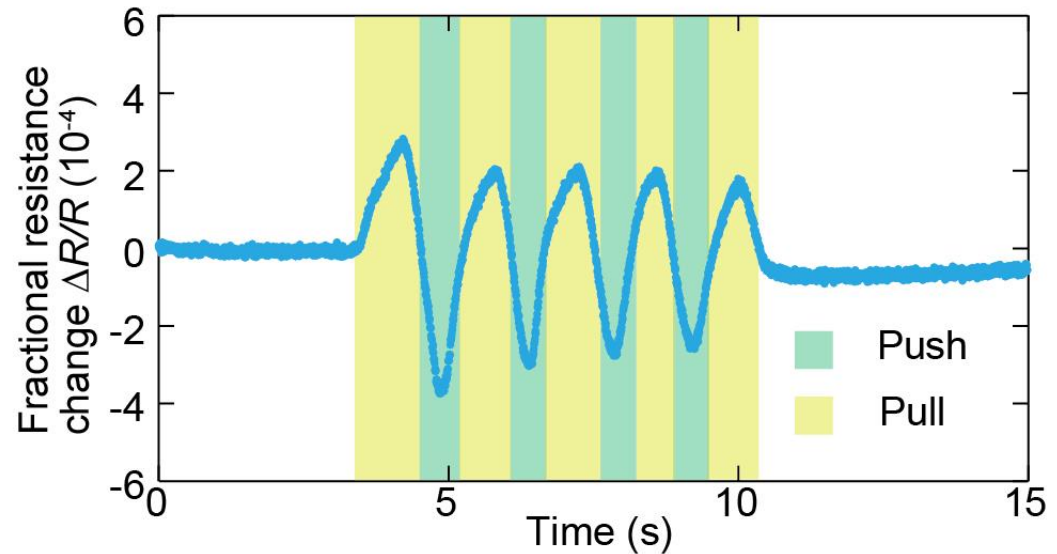
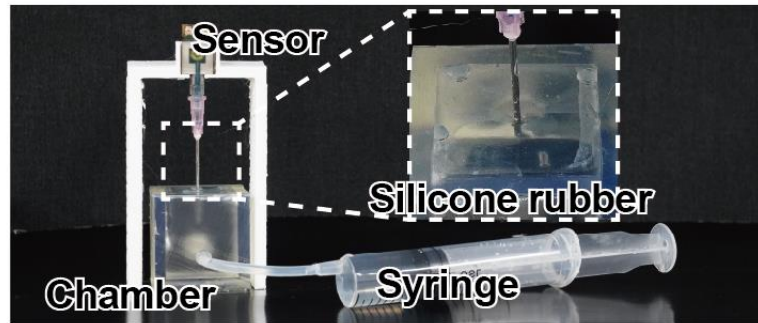
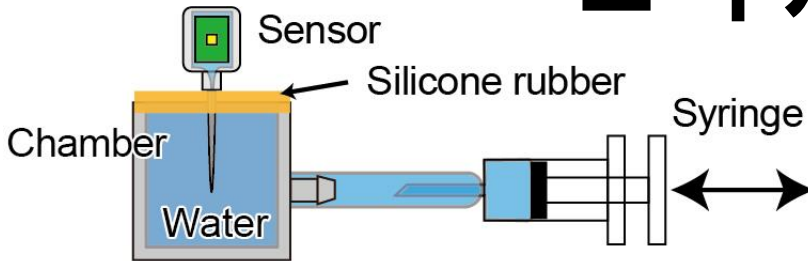
ニードル型内圧センサ



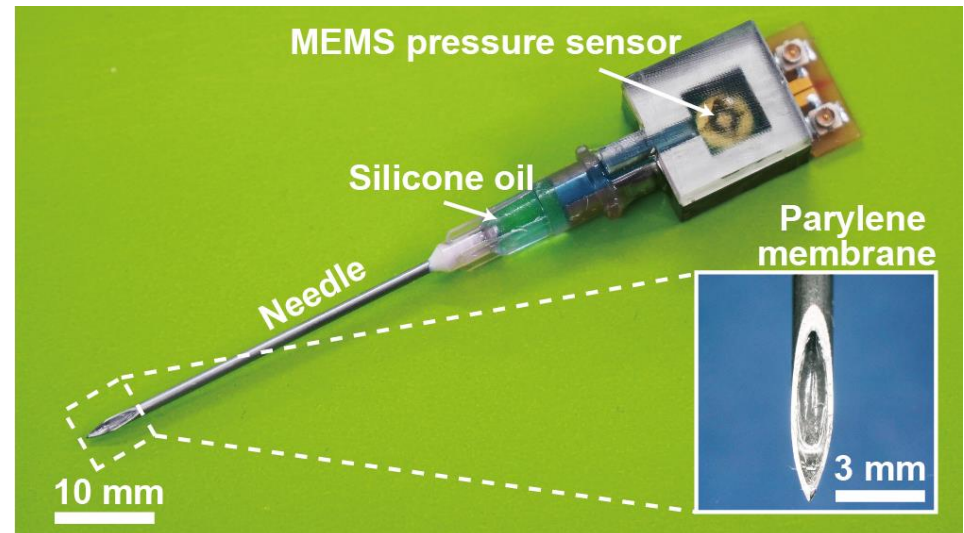
- ニードル構造内部に液体を封止し、先端を膜で密閉
- 反対側に差圧センサを配置
- 計測対象に刺した際に、ニードル先端に加わる圧力を液体を介して差圧センサで検知



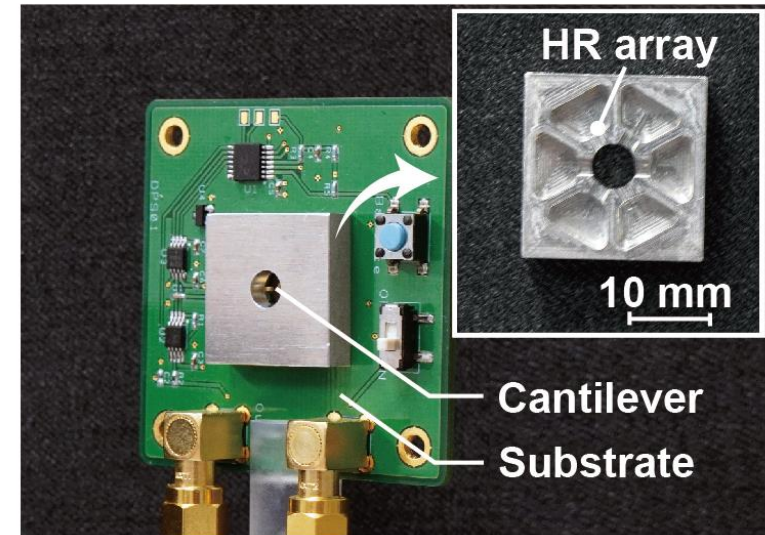
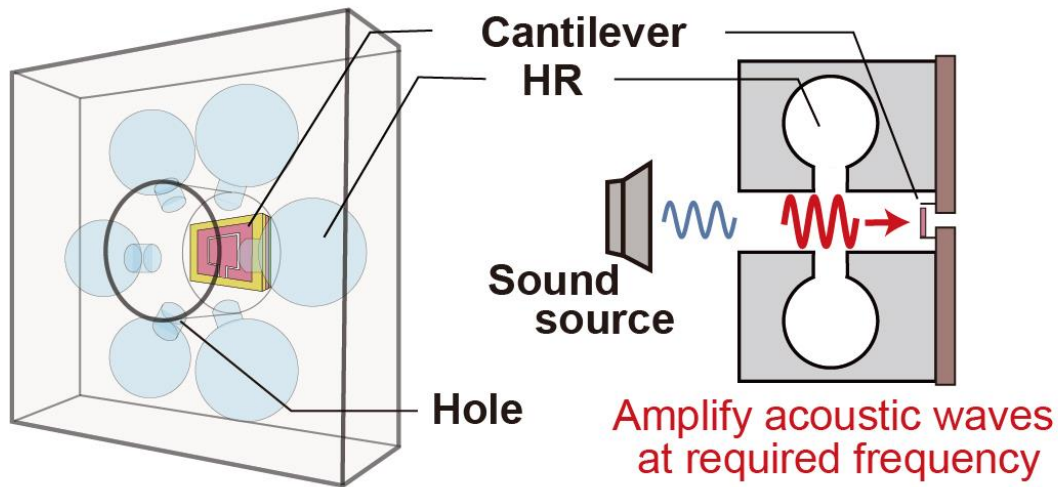
ニードル型内圧センサ



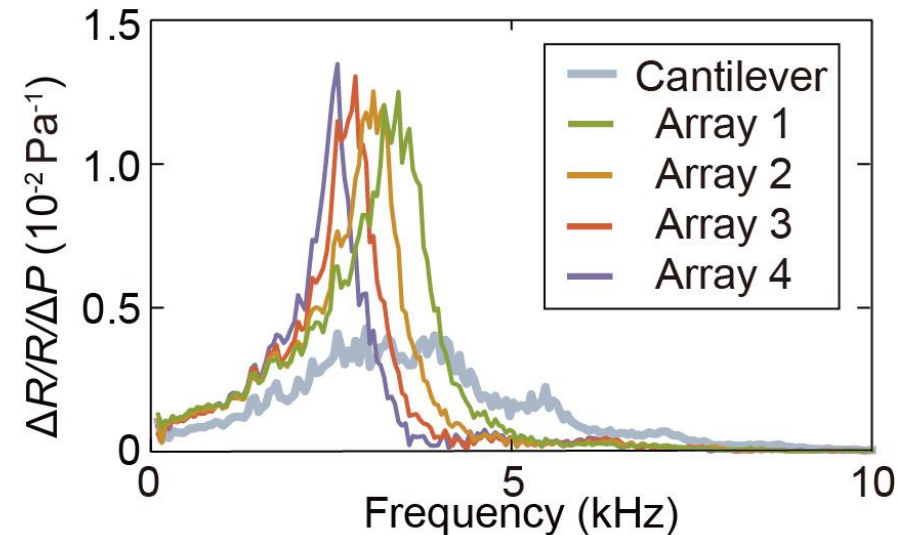
- 液体としてシリコンオイル、膜としてパリレンを使用
- 水を封止したチャンバにセンサを刺入し、チャンバ内の圧力を変化させた際の応答を計測



HR共鳴器を利用した音響センサ



- 差圧センサをカンチレバーの共振周波数帯での音響センサとして利用
- カンチレバーの共振と同じ周波数帯のヘルムホルツ共鳴器アレイを組み合わせて信号を増幅
- mPaのオーダーの音波を検知



想定される用途

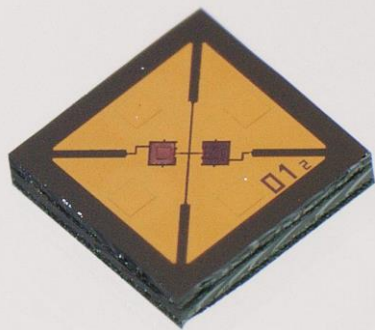
カンチレバー構造の差圧センサのポイント

- 0.1 Pa以下の圧力差を検出
- 1 kHz以上の高速応答
- 素子が加速度に反応しない(0.01 Pa/G以下)
- 回路が単純・低消費電力

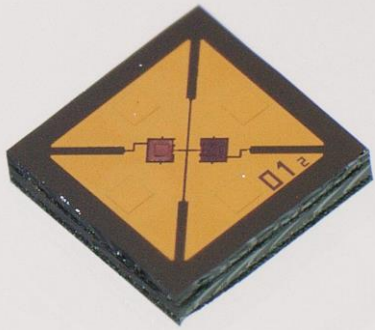
応用先として、

- 差圧センサ
- 大気圧変化センサ・高度センサ
- 角加速度センサ
- ピトー管・風速・風向センサ
- 内圧センサ
- 音響センサ・空振センサ
- 脈波センサ・粘度センサ

など力計測に関する様々な用途に応用可能



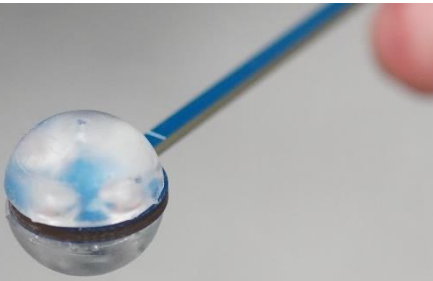
実用化に向けた課題



- 内圧センサは現在、原理検証を行った段階であり、センサの応答性や耐久性などが未解決

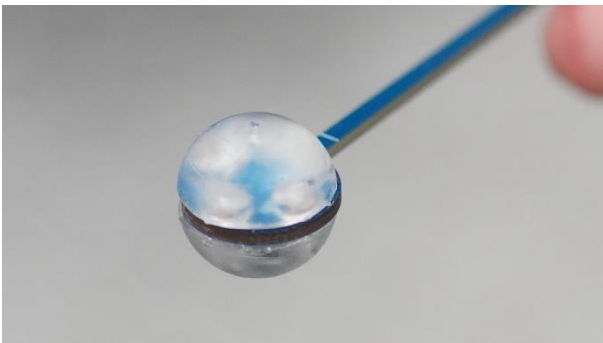
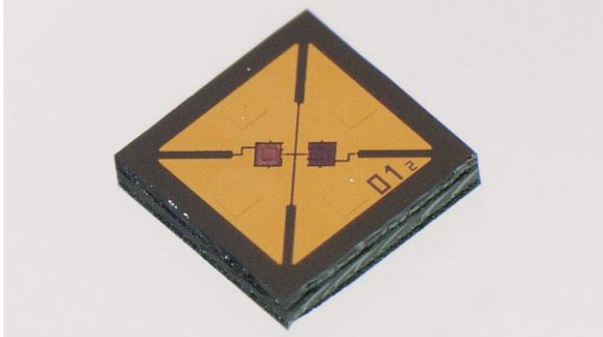


- 風向・風速センサは現在、二次元での風向を検知するアルゴリズムを開発済み、三次元へ展開している最中



- 角加速度センサ・高度センサは実用性を見据えて、小型化できる技術を確認する必要

企業への期待



- 差圧センサに関して、独自デバイス開発のシーズ技術は有しているが、応用面について知見が少ない
- デバイスの応用ニーズ・シーンのご提案を期待しています

産学連携の経歴

- 2018年-2019年 JST-A-STEP事業に採択
- 2021年- NEDO-官民による若手研究者発掘支援事業に採択

研究開発したMEMSの3軸触覚センサが2011年に創立した東京大学発ベンチャー企業「タッチエンス」から製品化

本技術に関する知的財産

発明の名称 : XXX

出願番号 : 特願2021-XXXX

出願人 : 学校法人慶應義塾

発明者 : 岸本卓大、高橋英俊

これ以外に、MEMS差圧センサを用いた応用に関して多数特許を有しております

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

TEL 03-5427-1439

FAX 03-5440-0558

e-mail toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp