



# CMC触覚・近接センサ特性について

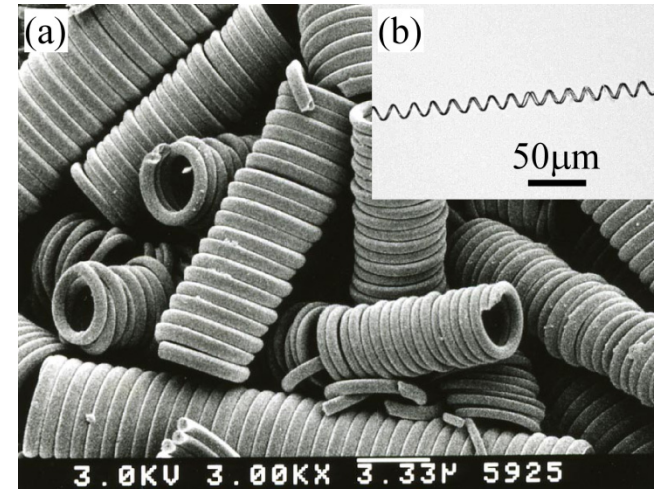
岐阜大学 工学部 産官学連携研究員  
夏原大宗

## 報告内容

1. CMCセンサの概要
2. CMCセンサの作成方法
3. CMCセンサの電気的特性
4. CMCセンサの近接センシング特性
5. まとめ

## Carbon microcoils (CMC)

- 3D helical-coiled carbon fibers (Pure carbon)
- Double-helic or single-helix
- Diameter of coils : 1~20  $\mu\text{m}$
- Coil Length : 50~1000  $\mu\text{m}$
- **Good elasticity** (10 times longer than original coil length)



carbon microcoils (CMCs)  
(a) Representative shape  
(b) Extended CMC

The **large changes** in electrical parameters by **expansion and contraction**.  
→ CMC sensor have attracted much attention for **tactile sensors** [1].

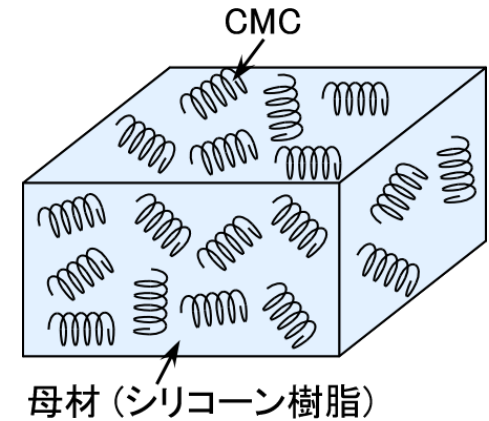
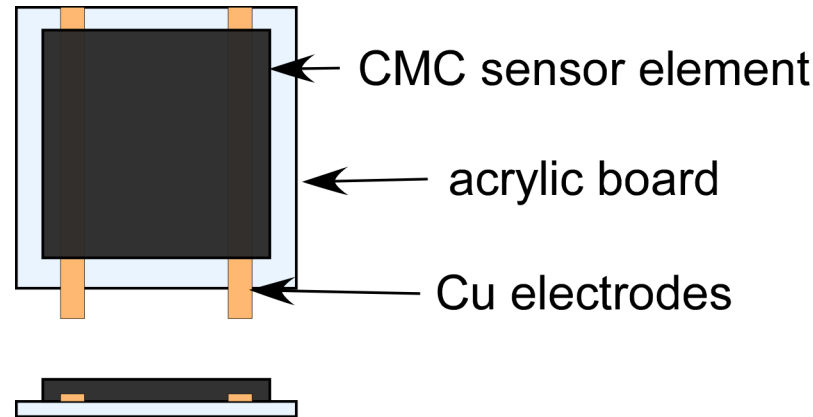
Recently, we observed weak electrical signals for an approaching target object (human palm, metal object etc)

➡ **CMC sensor have proximity sensing property.**

# CMC近接センサ



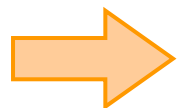
一般的なCMCセンサ



CMCセンサの模式図

## CMC近接センサの特徴

- ・ センサ構造が単純。  
→CMCと母材(樹脂)の混合・成形で作製できる。
- ・ 表面形状(球面、凹凸面など)に関わらず設置が可能。
- ・ 高い触覚センシング機能を合わせ持つ。



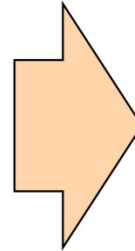
CMCセンサの人工皮膚・人型ロボット用センサへの応用

# CMCセンサの作製方法

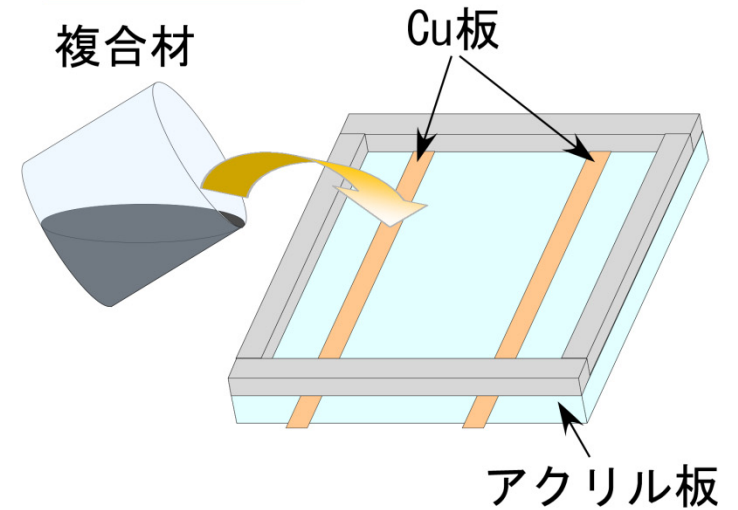
## ① 混合



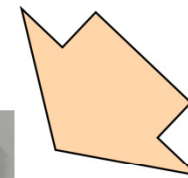
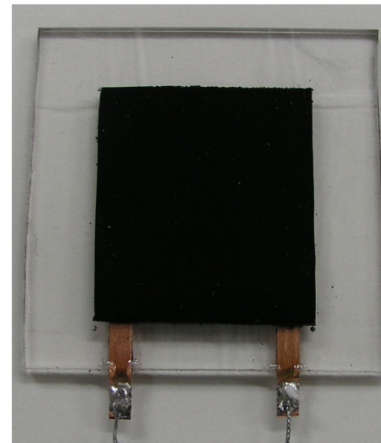
かくはん



## ② 成形



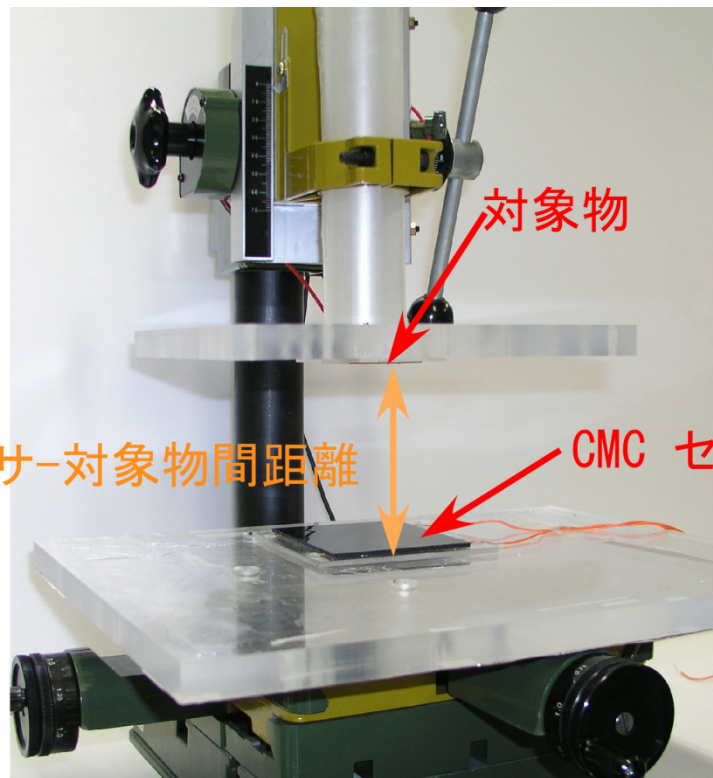
## ③ 完成



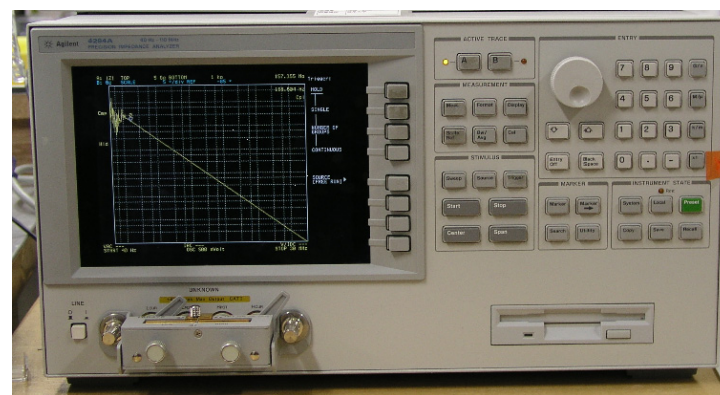
硬化、型の除去

# 近接センサの測定方法

ステージ台



インピーダンス  $Z$   
および位相差  $\theta$  の測定



Impedance Analyzer (Agilent 4294A)

測定電圧 : 0.5V

測定周波数 : 40~200kHz

対象物 : 銅板、アクリル板、手

センサー-対象物間距離 :  $D_{s-o} = -1 \sim 50\text{mm}$

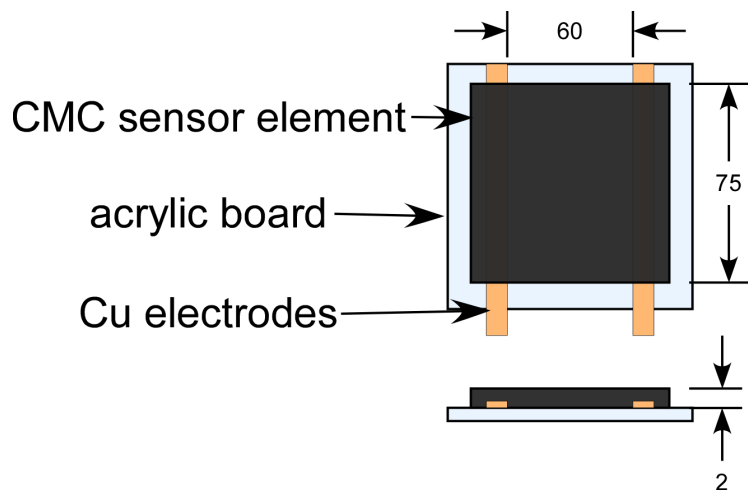
# CMCセンサの電気的特性

測定周波数：40~200kHz

対象物：Cu板 (40x40mm)

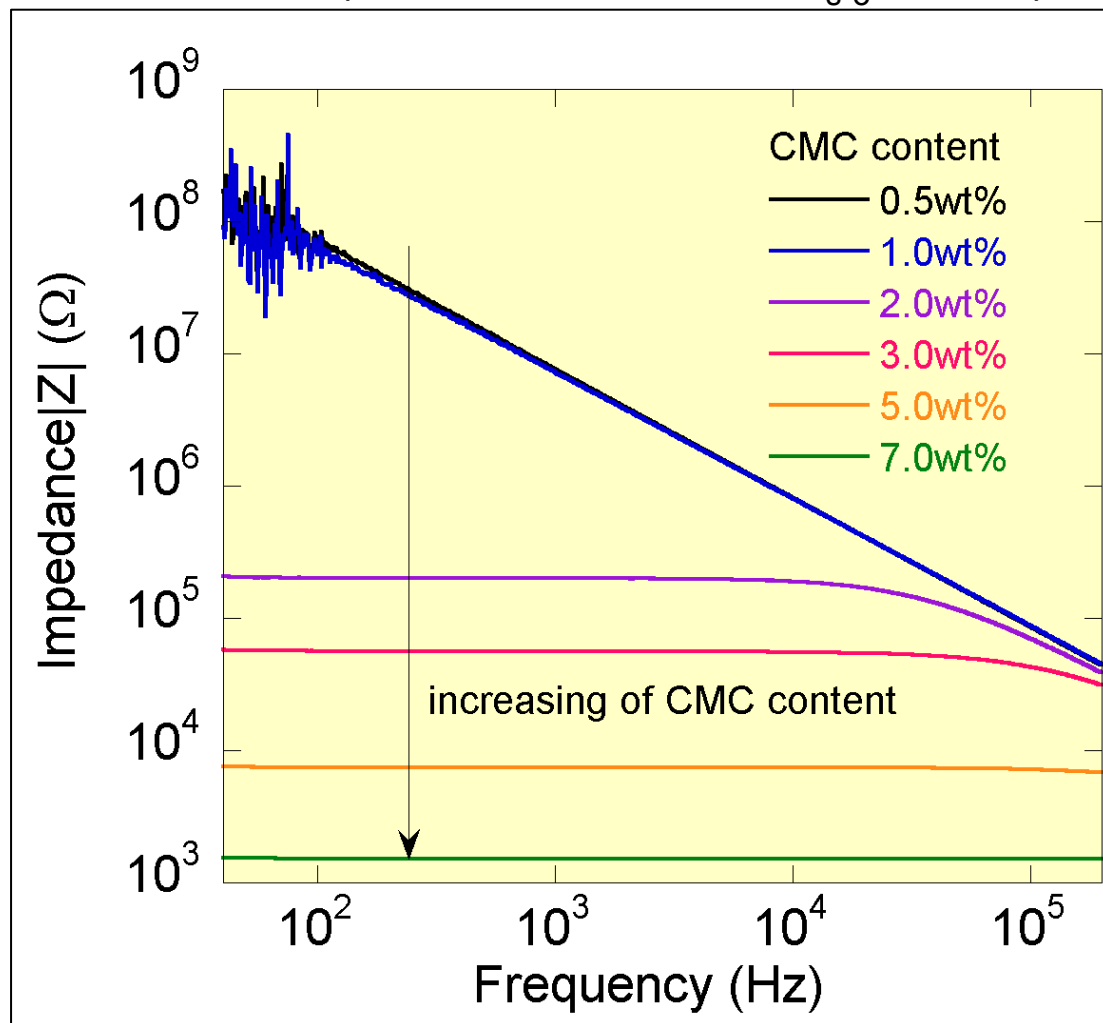
CMC添加量：0.5~10wt%

CMCの長さ：0.09mm



## インピーダンスの周波数特性

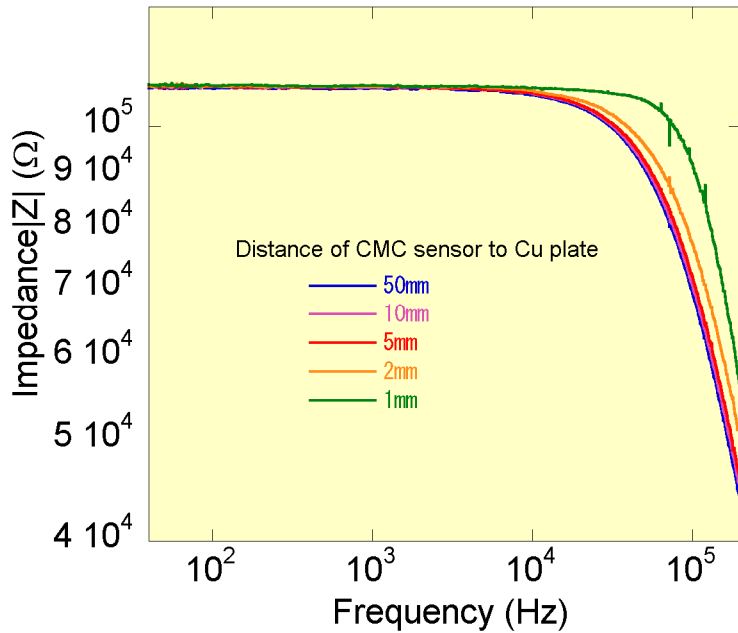
(センサ-銅板間距離： $D_{s-o}=50\text{mm}$ )



- ・ 低添加量 (~1wt%)  
→ コンデンサ
- ・ 中添加量 (2~4wt%)  
→ 抵抗 + コンデンサ
- ・ 高添加量 (5wt%~)  
→ 抵抗

# CMCセンサの近接センシング特性

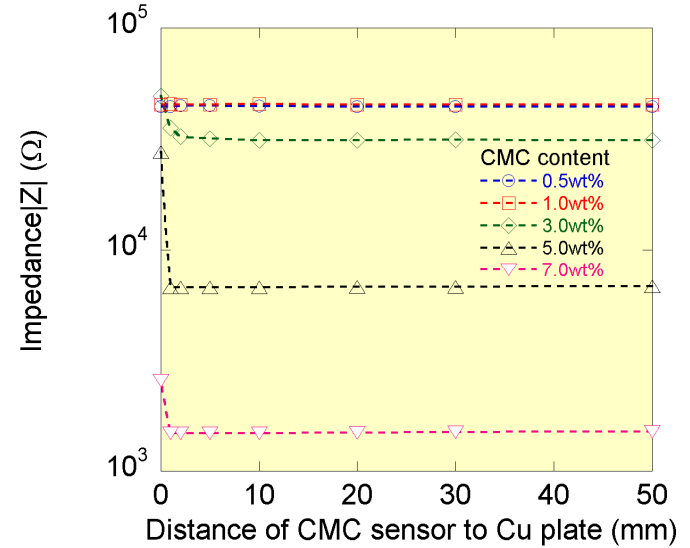
## ◆ 周波数特性特性



200kHzでプロット



## ◆ 近接センシング特性

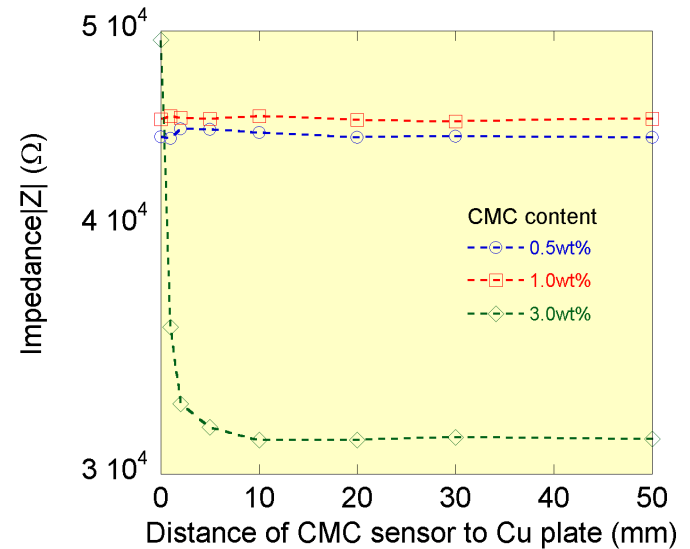


低・中添加量を拡大

## 近接および触覚センシング特性

CMC添加量	Low ~1wt%	Middle 2~4wt%	High 5wt%~
近接特性	×	◎	×
触覚特性	×	○	◎

CMC添加量の最適化

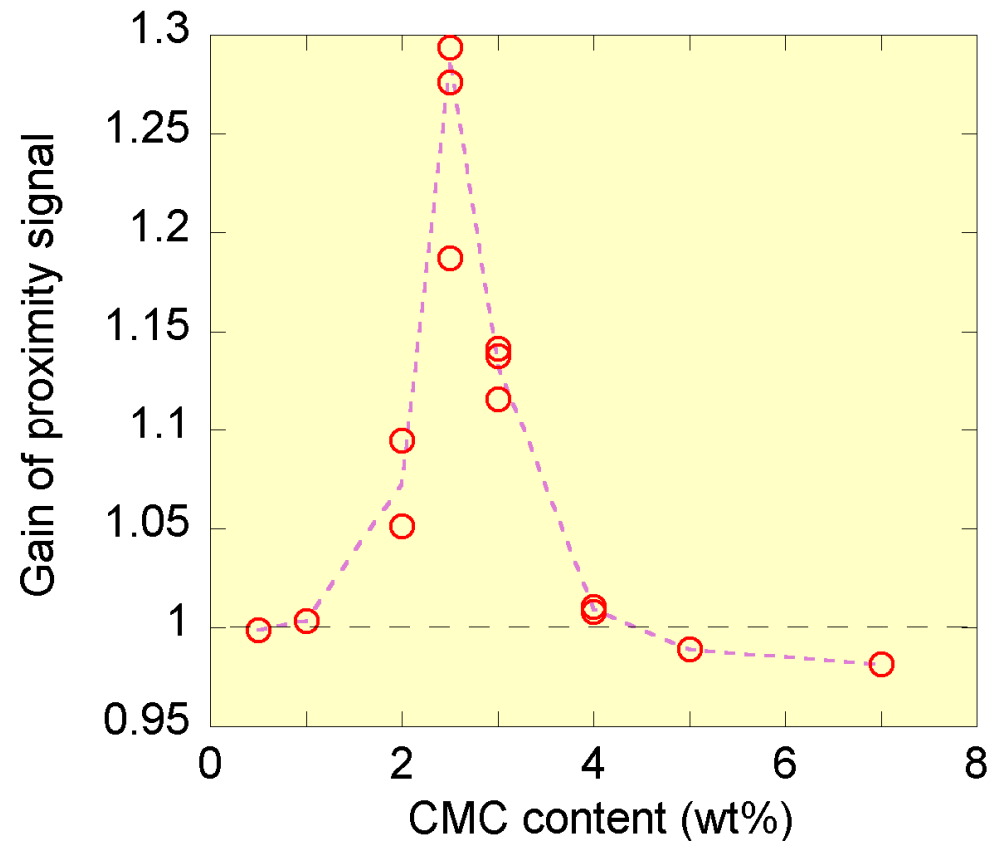
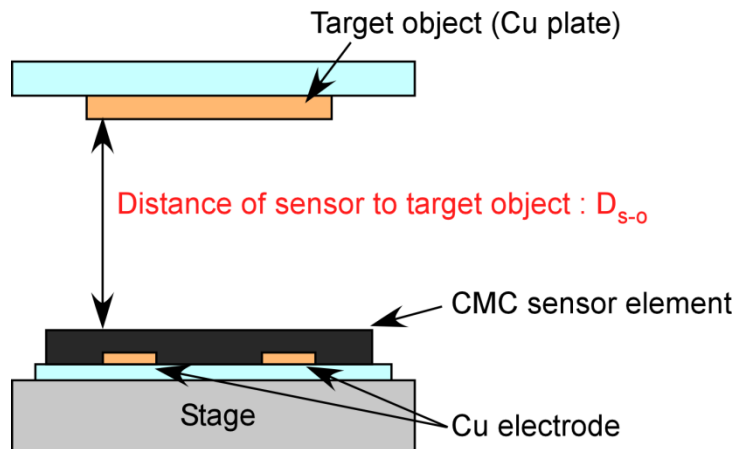


# CMC添加量の最適化

## 近接信号増幅率

$$G_p = \frac{\text{Impedance } Z \text{ of distance } D_{s-o1}}{\text{Impedance } Z \text{ of distance } D_{s-o2}}$$

$(D_{s-o1} = 1\text{mm}, D_{s-o2} = 50\text{mm})$



測定周波数 : 200kHz  
対象物 : Cu (40x40mm<sup>2</sup>)  
CMC添加量 : 0.5~7.0wt%  
CMCの長さ : 1mm

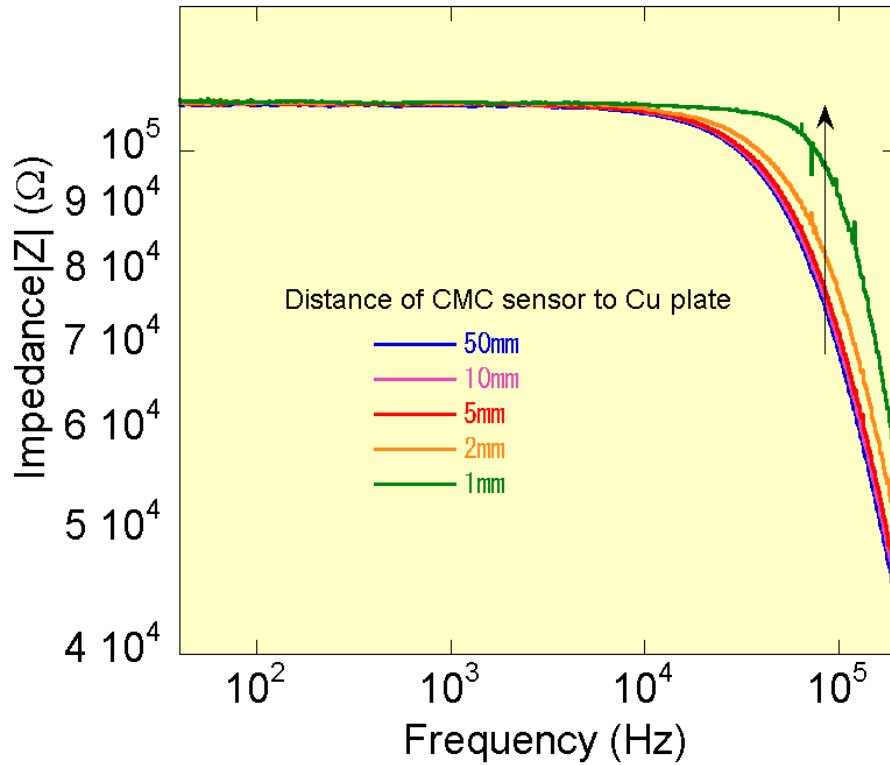
最適添加量 : 2.5wt%  
→ 近接信号増幅率 :  $G_p=1.29$



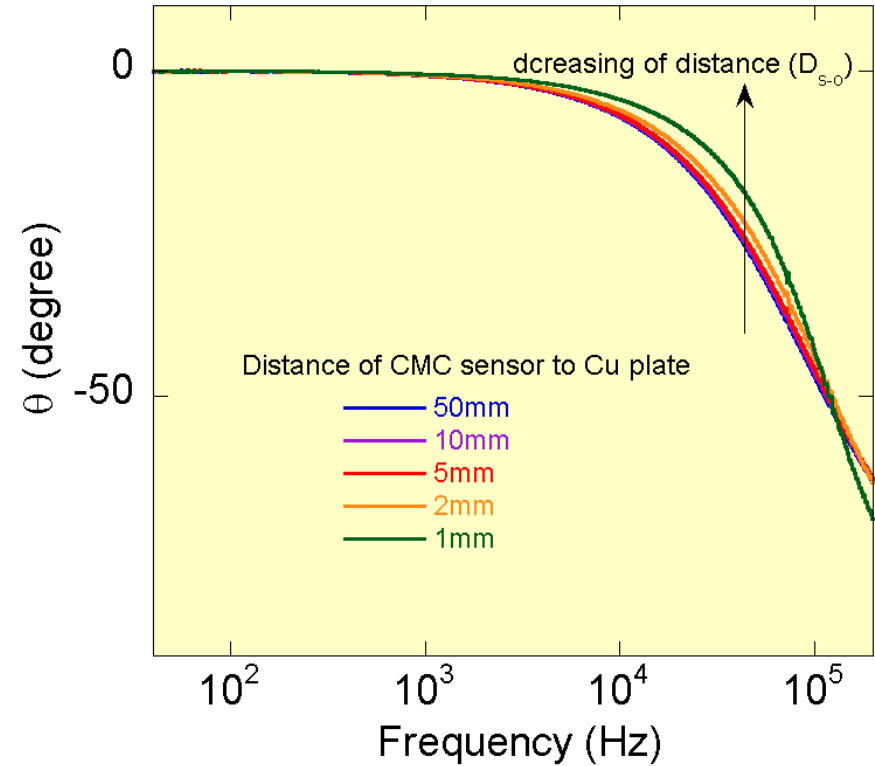
# CMC近接センサの周波数特性

対象物：Cu板 (40x40mm)  
CMC添加量：2.5wt%

(a) インピーダンス  $Z$



(b) 位相差  $\theta$



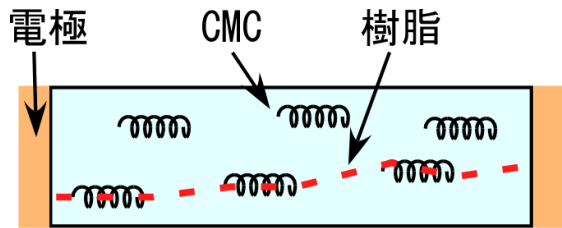
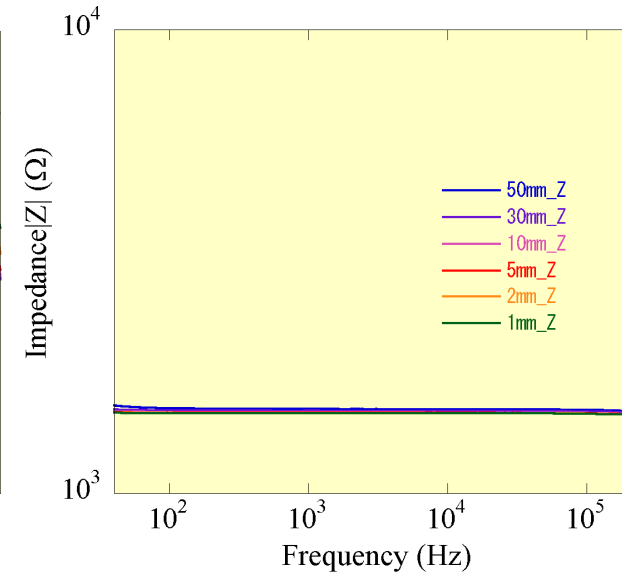
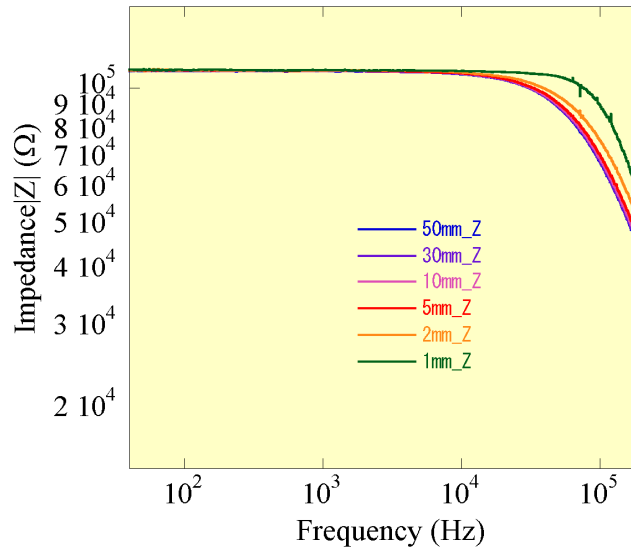
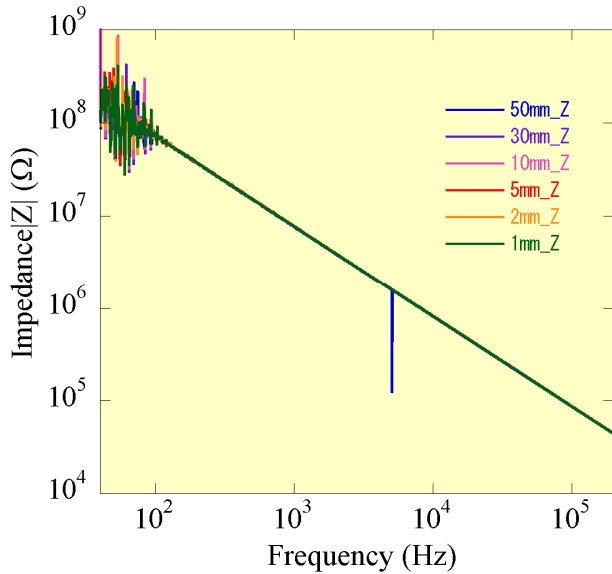
インピーダンス・位相差：高周波数領域で増加

# CMC添加量変化による影響

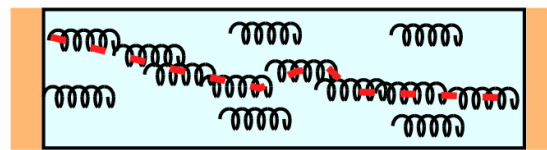
CMC添加量: 0.5wt%

2.5wt%

7wt%

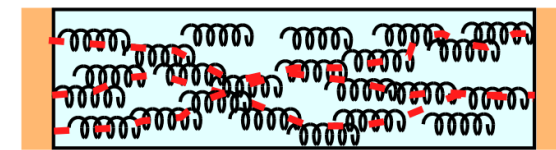


マトリックスのCを検出



CMCのRおよびCを検出

※パーコレーション



CMCのRを検出

対象物の近接によって変化

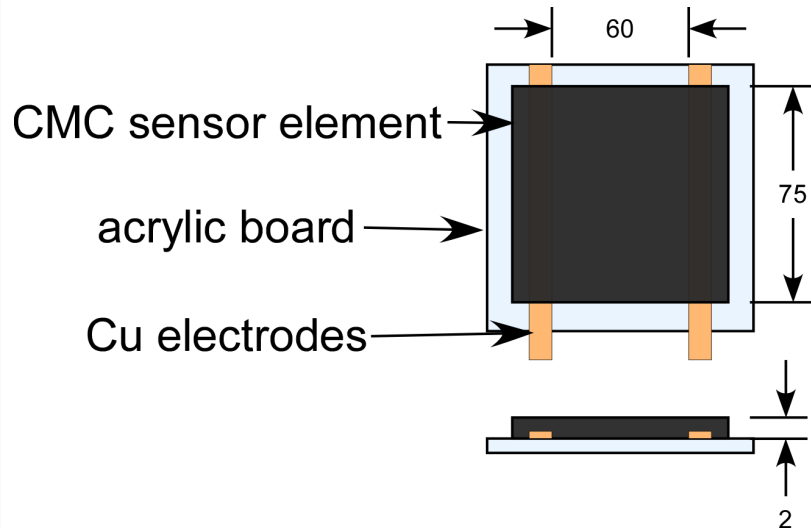
# CMC近接センサの分解能

対象物：Cu板

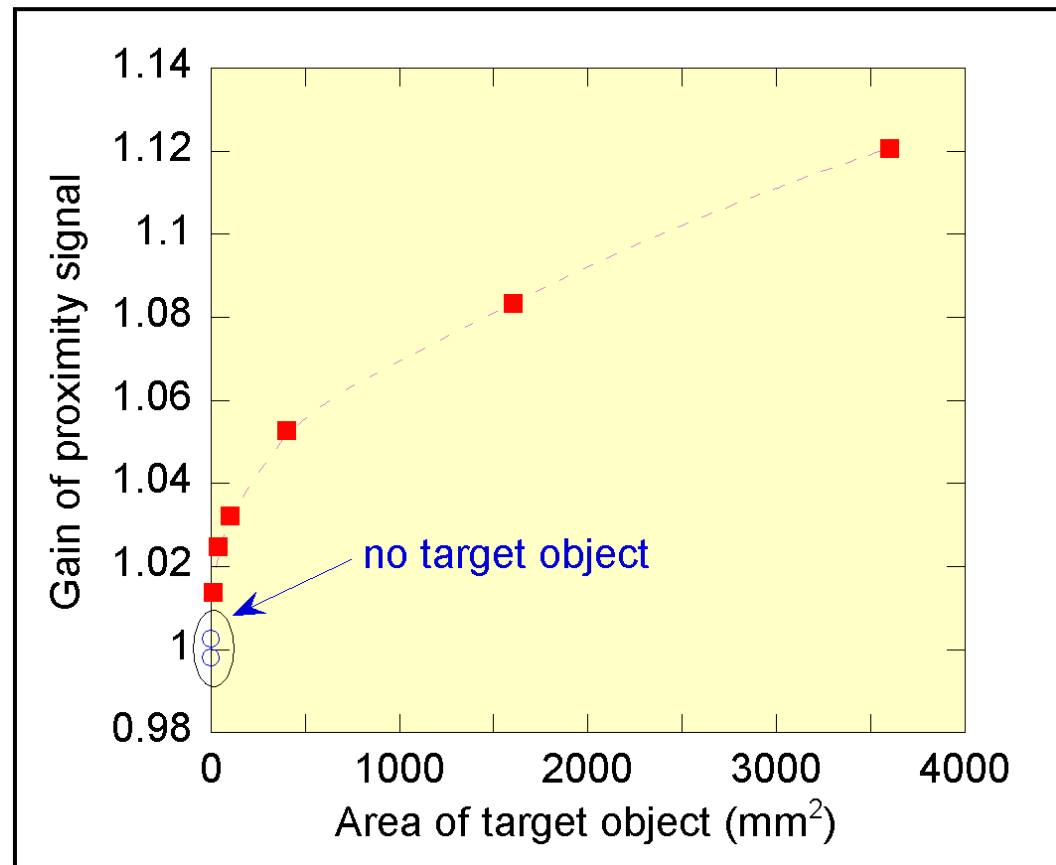
対象物の大きさ：

$3 \times 3 \text{mm}^2 \sim 60 \times 60 \text{mm}^2$

測定に用いた近接センサ



CMC添加量：2.5wt%  
CMCの長さ：1mm以上



9mm<sup>2</sup>の銅板： $G_p = 1.01$

対象物なし(アクリル板)： $G_p = 1.00$

→少なくとも9mm<sup>2</sup>の銅板の検出が可能

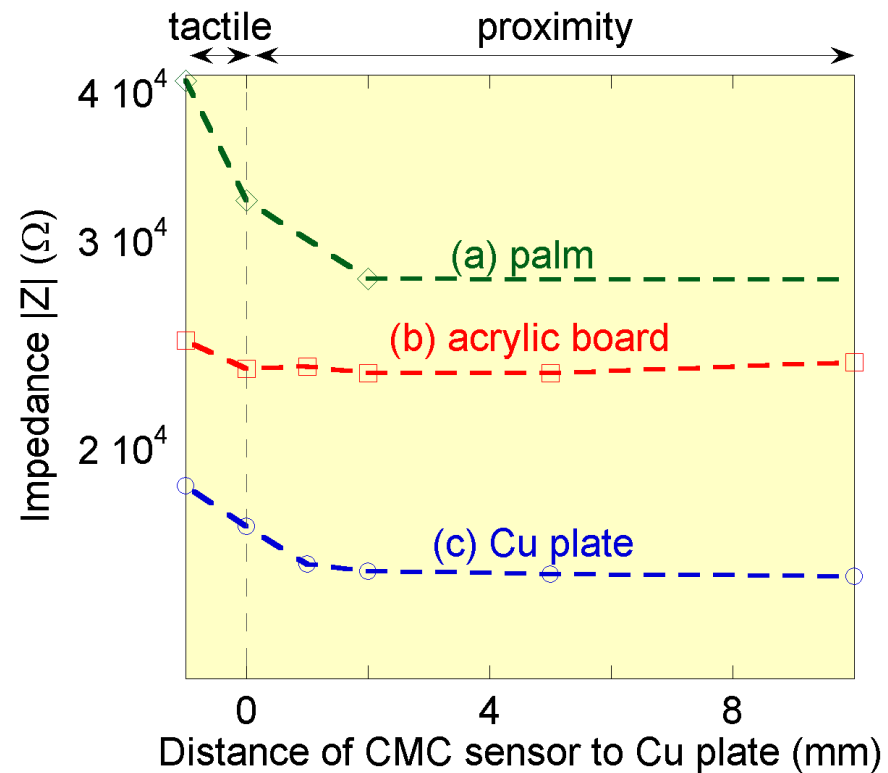
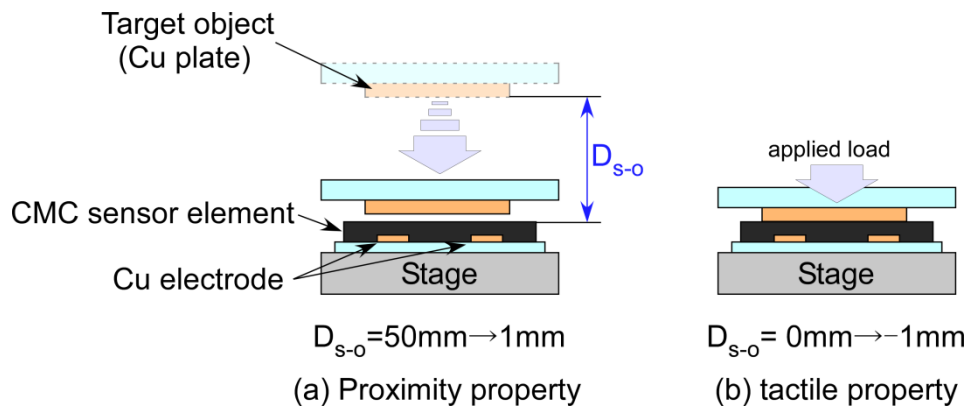
# 対象物による近接センシング特性

対象物：手，**アクリル板**，**銅板**

CMC添加量：5wt%

測定周波数：200kHz

Distance of CMC sensor to object :  $D_{s-o}$



	手	アクリル板 (絶縁物)	銅板 (金属)
近接センシング特性	◎	×	◎
触覚センシング特性	◎	○	◎

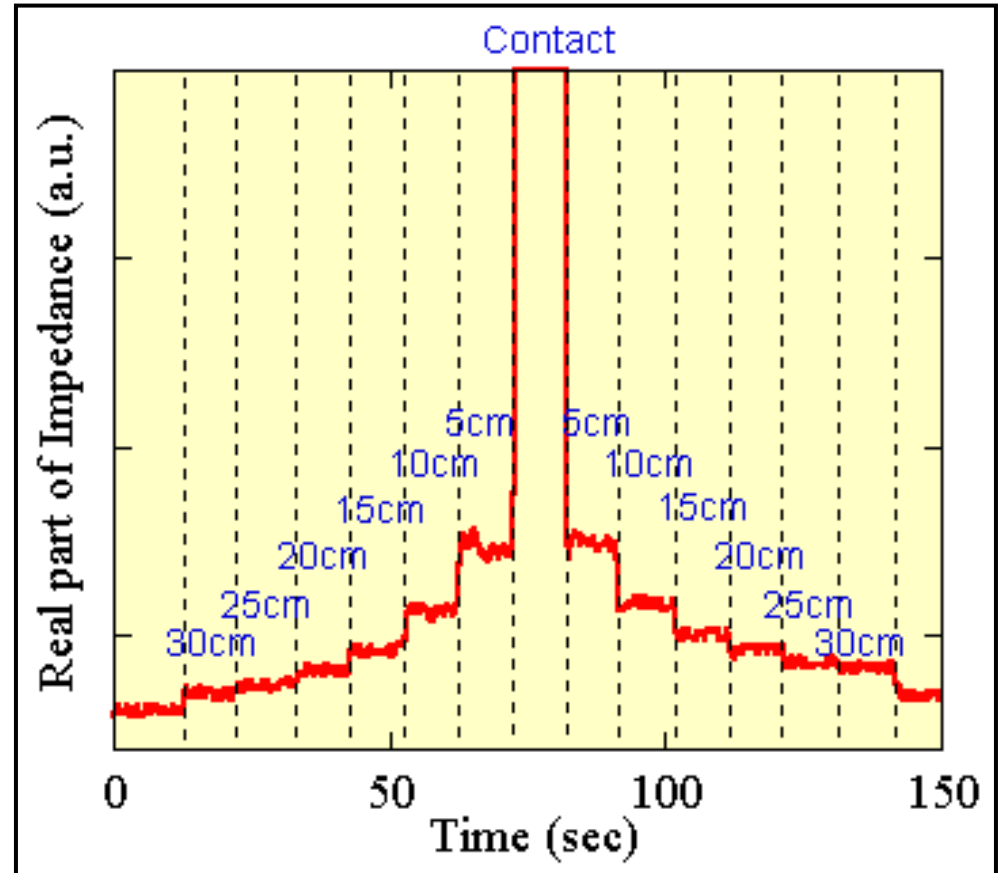
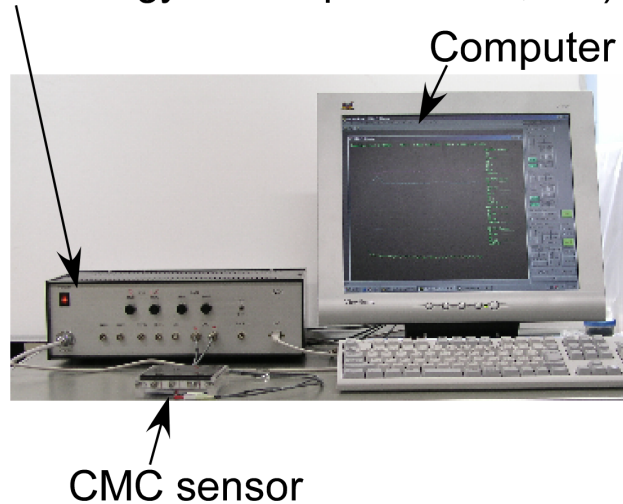
# CMC近接センサの検出距離

手を近づけたり、遠ざけたときのインピーダンスの実数部

対象物：手

センサ-銅板間距離 ( $D_{s-0}$ ) :  
30cm → 0cm (接触) → 30cm

Testing circuit of CMC sensor  
(CMC Technology Development Co.,Ltd.)



CMCセンサから30cm離れた手の検出が可能

## まとめ

### ◆ 電気的特性

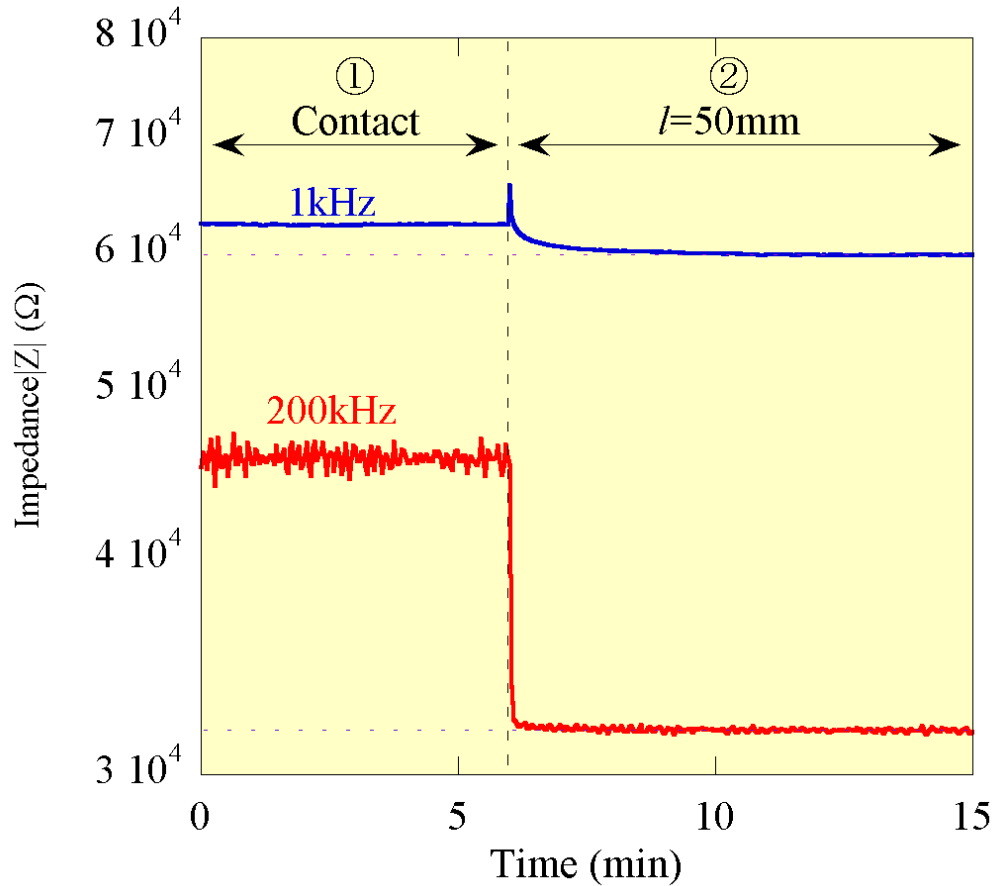
- ・低添加量（～1wt%）：コンデンサ
- ・中添加量（2～4wt%）：抵抗＋コンデンサ
- ・高添加量（5wt%～）：抵抗

### ◆ CMCセンサの近接センシング特性

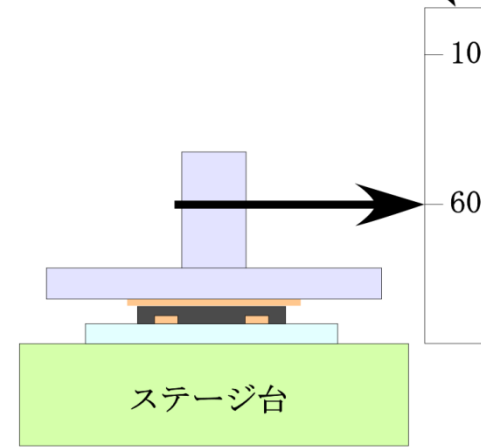
- ・最適CMC添加量：2.5wt%
  - 近接信号増幅率 $G_p=1.29$ を達成
- ・最小検出分解能：9mm<sup>2</sup>以上のCu板の検出が可能
- ・最大検出距離：30cm離れた手の検出が可能

# 以前の測定方法

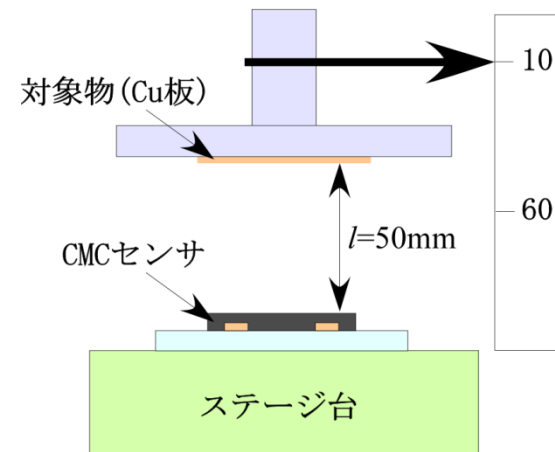
接触から離れたときのインピーダンス変化  
対象物：Cu板 (40x40mm<sup>2</sup>)



ステージに設置してある目盛り



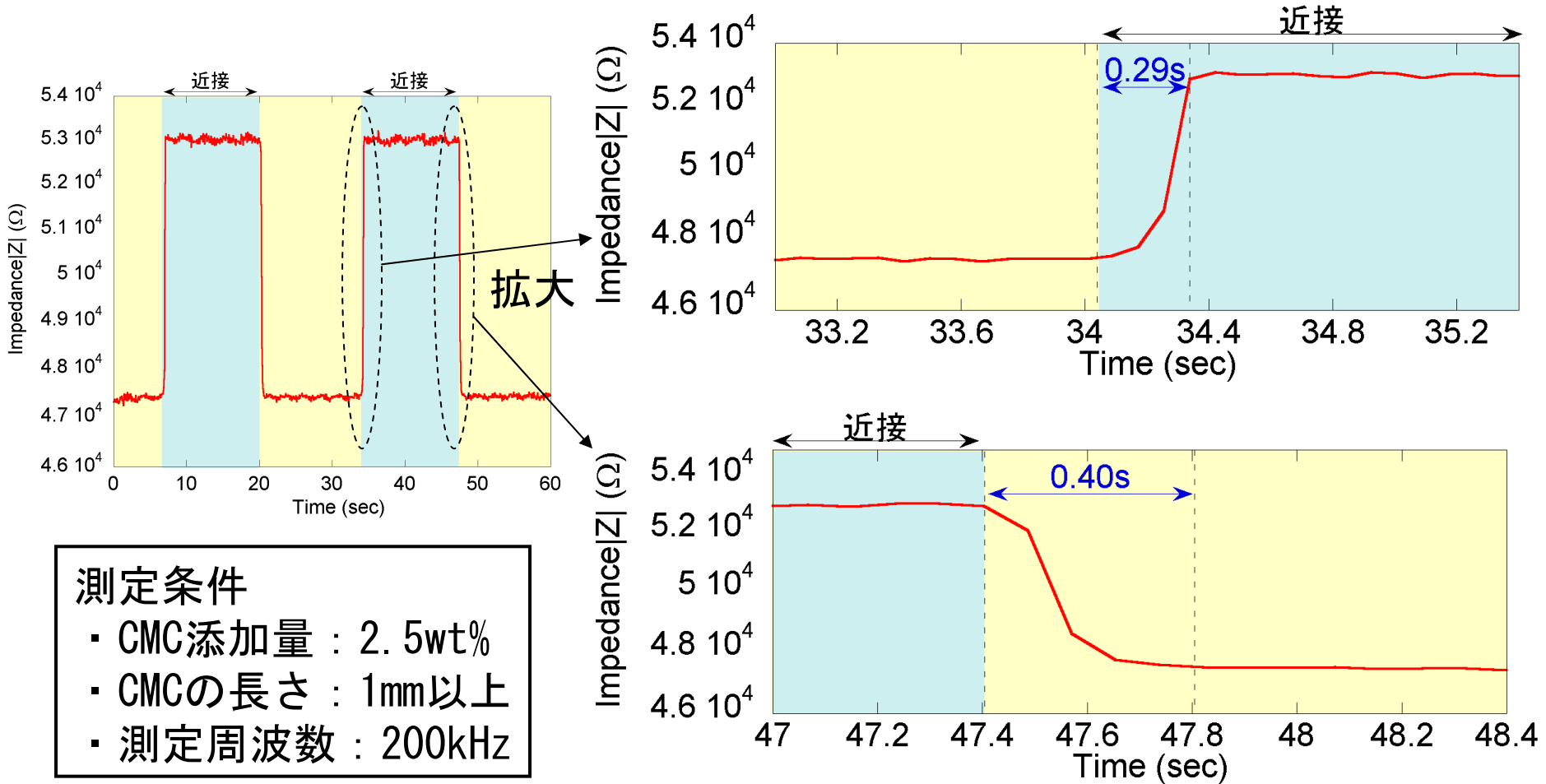
(a) 0点の確認



(b) センサ-銅板間距離: 50mm

# CMC近接センサの応答速度

センサ-銅板間距離 $D_{s-o}$  : 50mm  $\rightarrow$  1mm  $\rightarrow$  50mmを繰り返す。



近接センサの応答時間 : 0.3~0.4s  
 $\rightarrow$ 対象物の移動時間か？