

### 1. 電氣的ブラックボックス：容量変化による変位センサー

振動数  $f$  の緩和発振器に接続された電氣容量が  $C$  であるコンデンサーにおいて、 $f$  と  $C$  の関係は、

$$f = \frac{\alpha}{C + C_s}$$

で与えられる。ここで、 $\alpha$  は定数であり、 $C_s$  は発振器の回路がもつ未知の容量である。振動数  $f$  はデジタルマルチメータで測定することができる。

この実験で与えられる電氣的なブラックボックスは、平行板コンデンサーである。各極板は、多くの同じ形の歯を持つ櫛（クシ）状の極板からなる。下側極板に対して上側極板を水平に動かすことにより、 $C$  の値を変化させることができる。2つの極板間には、誘電体のシートがある。

**実験装置：** 緩和発振器、緩和発振器の振動数測定用デジタルマルチメータ、既知の電氣容量のコンデンサーセット、電氣的ブラックボックス、電池。

**注意：** 電池の電圧をチェックし、電圧が 9V より小さければ、新しいものを要求しなさい。スイッチをオンにすることを忘れるな。

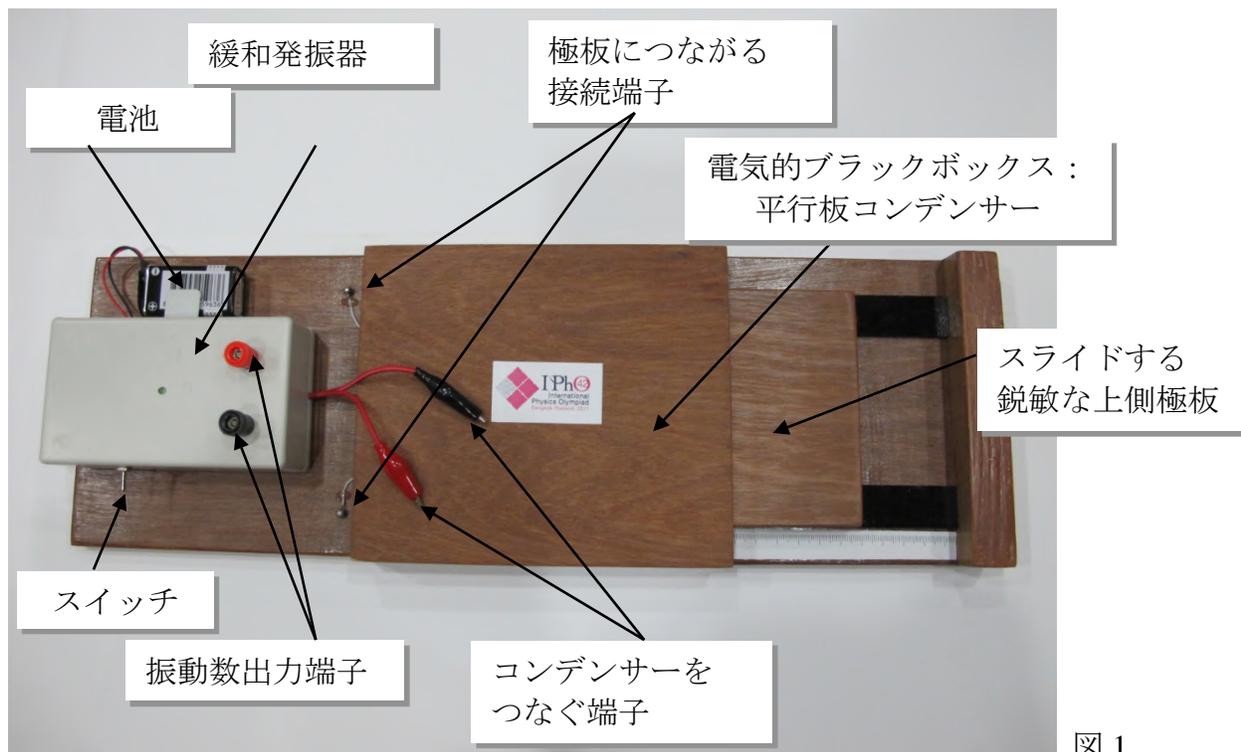


図1



図2 取り外せるコンデンサー4つ



この場所が振動数測定位置

図3 振動数測定用デジタルマルチメータ

表1 コンデンサーの電気容量の値

印字コード	電気容量の値 (pF)
33J	$34 \pm 1$
68	$68 \pm 1$
82J	$84 \pm 1$
151	$150 \pm 1$

問1. 測定装置の特性決定

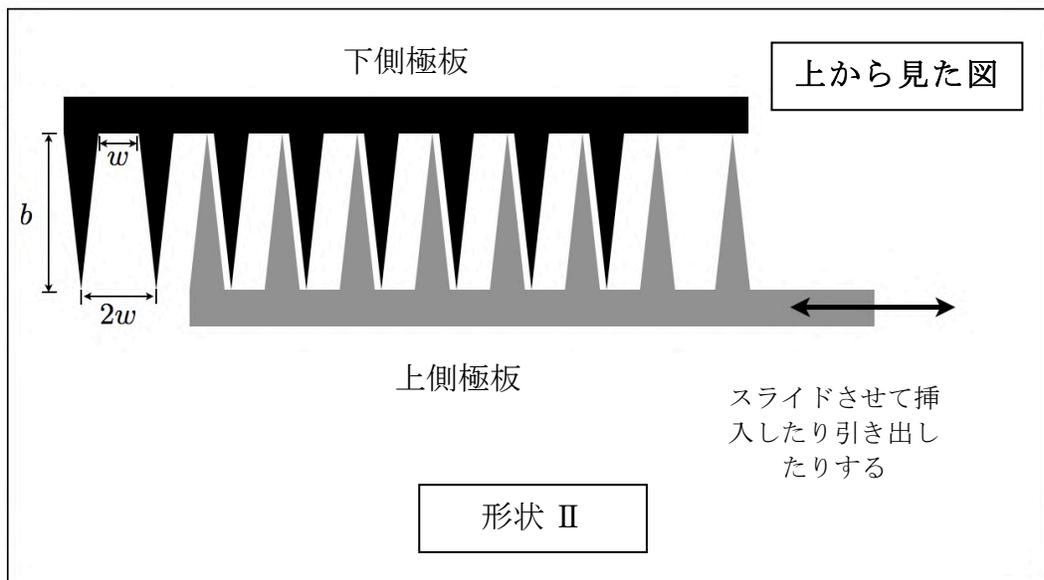
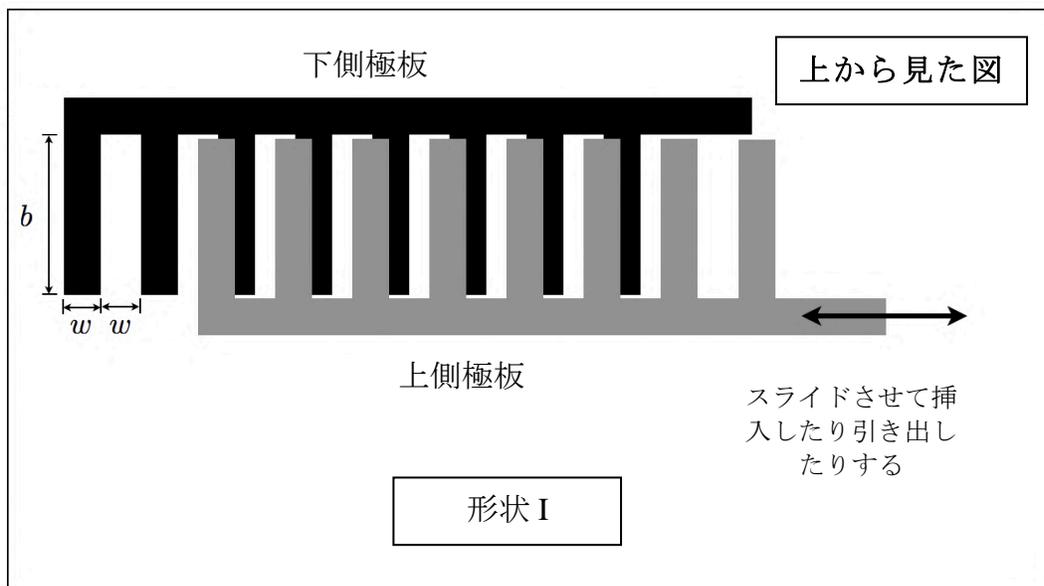
振動数  $f$  の値を、既知の電気容量をもつコンデンサーを工夫して用いることにより測定せよ。精度が高くなるグラフを描いて  $\alpha$  と  $C_S$  の値を求めよ。誤差解析をする必要はない。

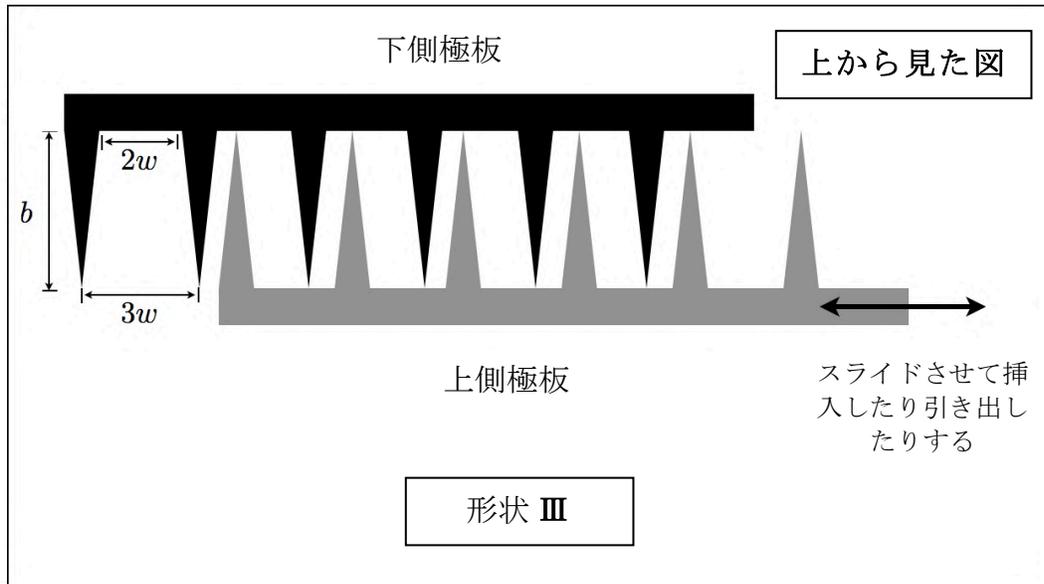
[3.0 点]

問2. 平行板コンデンサーの幾何学的形状の決定

[6.0 点]

平行板コンデンサーの幾何学的形状は、次の3つの形状のいずれかである。





各形状に対して、上側極板の位置を横軸とした  $C$  のグラフを定性的に描け。次に、上側極板の位置に対する  $f$  の値を測定せよ。グラフを描き、それらのグラフから平行板コンデンサーの形状とそのサイズ ( $b$  と  $w$  の数値) を決定せよ。上側極板と下側極板の間隔  $d$  は  $0.20 \text{ mm}$  であり、極板間の誘電体シートの比誘電率は  $K = 1.5$  である。真空の誘電率は  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$  である。誤差解析をする必要はない。

### 問 3. デジタル・ノギスの分解能

[1.0 点]

平行な二つの極板の相対的な位置が変わるにつれて、電気容量はあるパターンで変化する。この仕組みはデジタル・ノギスで長さを測るときに用いられている。この実験で用いた平行板コンデンサーをデジタル・ノギスとして用いる場合の、デジタル・ノギスの分解能を、問 2 の実験データをもとに見積もれ。ただし、この分解能とは、周波数が  $f \approx 5 \text{ kHz}$  のときに測定することのできる最小の距離とする。この問題の最終的な答えに関して、誤差の見積もりをする必要はない。

## 2. 力学的ブラックボックス: 内部にボールの入った円筒

質量  $m$  の小さなボールが質量  $M$  の長い円筒の上端から距離  $z$  の位置に固定されている。円筒の中心軸に垂直に一連の穴があけられている。これらの穴は、円筒を鉛直につるす支点にするためにあけられている。

装置を壊すことなく測定を行い、後のヒントを参考に、次の数値を定めて誤差の見積もりを行え:

i. ボールが入った円筒の重心の位置

また、その重心を測定する実験のセットアップの概略図も記入せよ。 [1.0 points]

ii. 距離  $z$

[3.5 points]

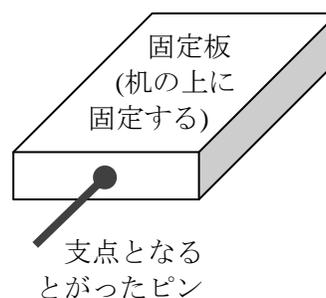
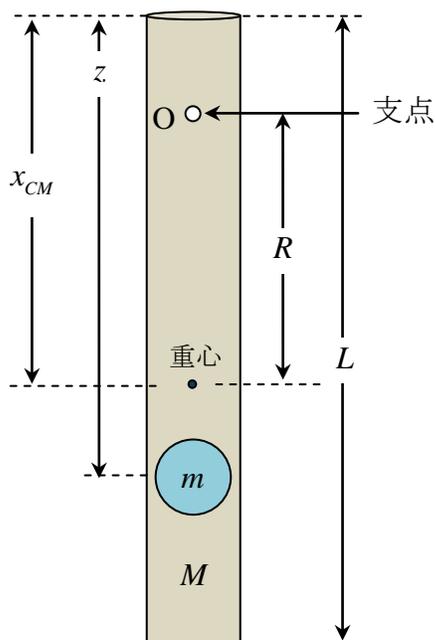
iii. 質量比  $\frac{M}{m}$

[3.5 points]

iv. 重力加速度  $g$

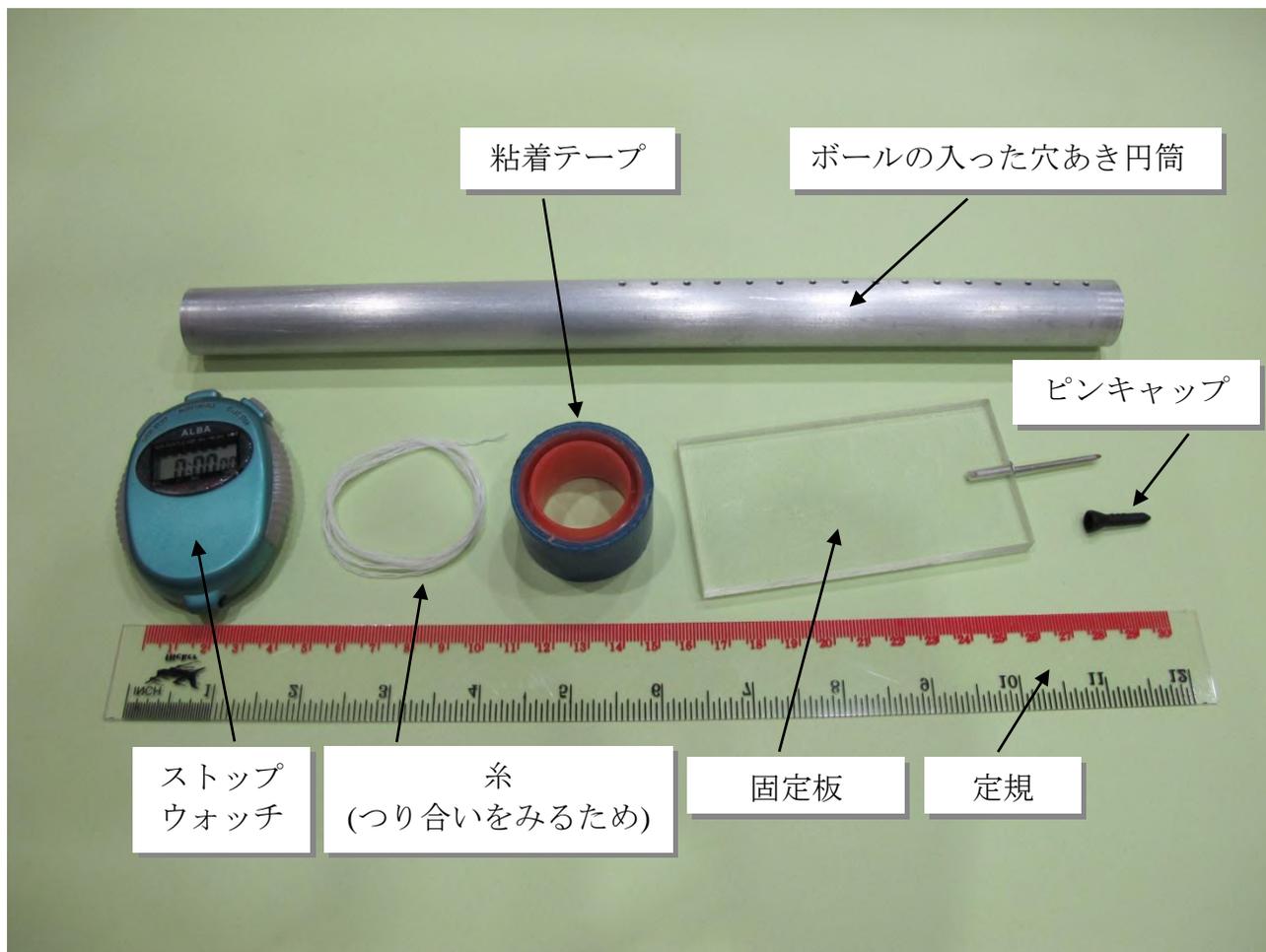
[2.0 points]

実験装置: ボールが入った穴あき円筒, とがったピンの付いた固定板, ピンキャップ, 定規, ストップウォッチ, 糸, 鉛筆, 粘着テープ



$x_{CM}$  は円筒の上端から重心までの距離である。

$R$  は支点から重心までの距離である。



**注意：**安全のために、使用しないときはピンにピンキャップを取り付けておくこと。

**重要なヒント：**

1. このような剛体振り子では、 $\{(M+m)R^2 + I_{CM}\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -(M+m)gR\theta$  の関係が成立する。

ただし、 $I_{CM}$  はボールが入った円筒の重心まわりの慣性モーメント、 $\theta$  は変位角である。

2. 長さ  $L$ 、質量  $M$  の円筒が、重心を通り円筒に垂直な軸まわりに回転する。このときの重心まわりの慣性モーメントは、 $\frac{1}{3}M\left(\frac{L}{2}\right)^2$  と近似できる。
3. 平行軸の定理： $I = I_{\text{重心}} + \mathbf{M}x^2$ 、ただし、 $x$  は回転中心から重心までの距離、 $\mathbf{M}$  は物体の総質量である。
4. ボールは質点として扱ってよく、円筒の中心軸上にある。
5. 円筒の両端にあるふたの質量は無視でき、円筒は一様とみなしてよい。

Student Code    -



解 答 用 紙

問 1. 測定装置の特性決定

$\alpha =$

$C_s =$

問 2. 平行板コンデンサーの幾何学的形状の決定

形状 I: 上側極板の位置に対する  $C$  のグラフの概形

形状 II: 上側極板の位置に対する  $C$  のグラフの概形

Student Code    -



形状 III : 上側極板の位置に対する  $C$  のグラフの概形

実験結果から，平行板コンデンサーの幾何学的形状は

形状 I       形状 II       形状 III

$b =$

$w =$

問 3. デジタル・ノギス分解能

$f \approx 5 \text{ kHz}$  で測定可能な最小の長さは

\*\*\*\*\*

Student Code    -



解 答 用 紙

重心を測定する実験のセットアップの概略図

重心の位置は

$z =$

$\frac{M}{m} =$

$g =$

\*\*\*\*\*