

## スプリング支持音片に就いて

木村 瑞雄\*

(信州大学助教授 工学部)

## I 緒 言

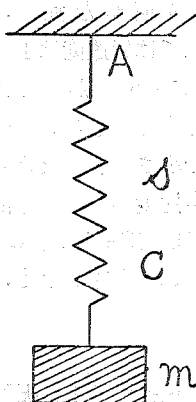
標準周波数発振器として機械振動子を用いた発振器が用いられて居るが、之が発振周波数の安定度の向上に対し機械振動子として最も重要な条件は、その共振尖鋭度の高い事と周波数温度係数の微小な事である。

先に筆者等の提案した音片発振器は之等機械振動子発振器の一つとして、特に極めて高い安定度を有し広く実用せられつつあるが、之に用いられる音片振動子の支持法として、音片振動の節点に於いて厚味面に垂直に細孔を穿ち、この孔に鋼針を打ち込む等の方法で固着して支持する従来の支持法<sup>(1)(2)</sup>（以下之を鋼針支持法と呼ぶ）に対し、我々は音片振動の節線上音片の両端近くに小孔を穿ち、この孔に蔓巻ばねを引掛けて支持する新しい支持法（以下之をスプリング支持法と呼ぶ）を採用した結果、支持損失少く音片の共振尖鋭度が一段と高くなるばかりでなく、その周波数温度係数が微小にでき、広い温度範囲に亘り  $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  合は容易に得られ、綿密に調節すれば  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  合のものも得られ、機械振動子の周波数温度係数としては劃期的な成果を得、音片発振器の安定度を著しく向上せしめる事ができた。よつてこゝに音片支持に関して若干の考察を加えると共に、スプリング支持音片の共振尖鋭度、周波数温度係数その他に就いて報告する。

## II 音片支持に対する考察

本項に於いては音片の支持を機械振動系の問題として取扱い、鋼針支持とスプリング支持との比較を行つて見る。

## 1. 機械振動系



第1図の如き質量  $m$ 、粘性減巾定数  $c$ 、スチフネス  $s$  の機械振動系に於いて質量  $m$  に  $P_0 \sin \omega t$  なる調和的の外力が加つた場合の一自由度の系の運動の微分方程式は次式の如くなる。<sup>(3)</sup>

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + sx = P_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (1)$$

この式の特解を

$$x = x_0 \sin (\omega t - \varphi) \quad \dots\dots\dots (2)$$

とおき、 $x_0$  を求めると次の如くなる。

$$x_0 = \frac{P_0/s}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式に於いて  $c_c$  は臨界減巾定数、 $\omega_n$  は固有角速度で之等の間に第1図基本的機械振動系は次の如き関係を有する。

\* 信州大学助教授 工学部通信工学科

$$c_c = 2m\sqrt{\frac{s}{m}} = 2\sqrt{ms} = 2m\omega_n \dots\dots\dots(4)$$

次に第1図の質量  $m$  に  $P_0 \sin \omega t$  の力加る代りに、ばねの上端  $A$  が  $a_0$  の振巾で  $a_0 \sin \omega t$  の上下振動をする場合の運動の方程式は次式の如くなる。

$$m\ddot{x} + s(x - a_0 \sin \omega t) + c(\dot{x} - a_0 \omega \cos \omega t) = 0 \dots\dots\dots(5)$$

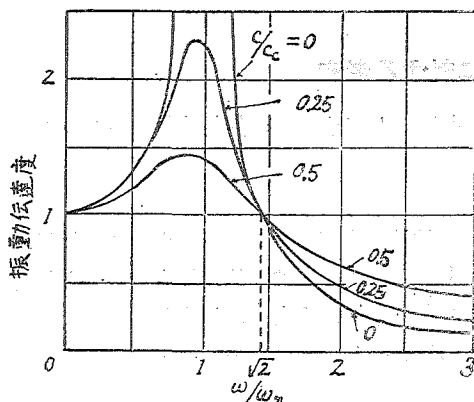
即ち  $m\ddot{x} + c\dot{x} + sx = \sqrt{(sa_0)^2 + (ca_0\omega)^2} \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots(6)$

(6) 式を(1)式と対照すると、ばねの上端の振巾  $a_0$  の運動は質量に  $\sqrt{(sa_0)^2 + (ca_0\omega)^2}$  の振巾の力の加つたのと同じである。

以上の事柄より(3)式中  $P_0$  の代りに  $\sqrt{(sa_0)^2 + (ca_0\omega)^2}$  を入れれば

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{\sqrt{(sa_0)^2 + (ca_0\omega)^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \\ &= \frac{a_0 \sqrt{1 + \left(2 \frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

倍  $a_0$  はばねの上端の振巾であり、 $x_0$  は質量の振動振巾で  $x_0/a_0$  は振動の伝達度 (transmissibility) を表すものである。即ち(7)式より



第2図  $\omega/\omega_n$  対振動伝達度曲線

印加振動の角速度  $\omega$  に比して充分小さい事が必要で、又  $c=0$  に近い事が望ましい。 $\omega_n$  が小さいためには質量  $m$  が大きくスチフネス  $s$  が小さい事、即ちばねは充分柔かなものを選ばねばならない。

## 2. 音片支持の概要

上述の機械振動系の振動伝達の理論より推測して音片、音叉等の機械振動子を発振子として用いる場合、支持部よりの振動エネルギーの流失を防ぐためには、之を支持する場合、支持部と支持台との間に適当な支えばねを入れる事が望ましい。若し支持部より

振動伝達度

$$= \frac{\sqrt{1 + \left(2 \frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(\frac{c}{c_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \dots\dots(8)$$

第2図に  $\omega/\omega_n$  に対する伝達度の関係を示す。同図より明かな如く、 $\omega/\omega_n > \sqrt{2}$  の範囲では伝達度は1より小さくなり、特に  $c/c_c$  が零又は零に近い時は著しく小さくなる。従つて振動伝達度を充分小さくするためには、機械系の共振角速度  $\omega_n$  が、外部

の振動エネルギーの流失の大きい時は、振動子の共振鋭度 $Q$ を低下せしめるだけでなく、支持装置、支持台等が振動子の振動に影響を及ぼして、振動子の取付け具合によつて共振周波数が多少変化し、又更に周波数温度係数の微少化にも大きな障害を興える事になる。一体音片を支持する場合、若し節点を正確に支持したとしても、節点は完全な静止点でない。即ち音片は振動の際屈曲するが、その際中性層の長さは変化しないので、節点は音片振動の2倍の振動数で音片の中央部に向つて往復運動する。そこで支持装置（鋼針、スプリングの如き）は撓み振動を受ける。実際の支持状態では支持点に面積を持つので、支持装置は更に振り振動を受ける。又支持点が多少節点を外れている場合は（實際上しばしば起る事であるが）、音片の厚味に直角な方向、即ち先の節点の運動と直角な方向の、音片振動と同一振動数の撓み振動も加つて来る。この中で音片屈曲により生ずる節点の運動の振巾は、音片の振動振巾が小さいものである限り、極めて微少なものである。例えば音片の腹部における振動振巾を $10\mu$ とした場合、音片振動に際し一つの節点の音片中央部に向つて運動する最大距離は、之を近似計算によつて求めると、長さ36cmの音片で約 $0.5\mu$ 、18cmの音片で約 $1.0\mu$ 、12cmの音片で約 $1.5\mu$ 、10cmの音片で約 $1.8\mu$ 又8cmの音片で約 $2.3\mu$ となる。又振り振動も同じく微少なものである。従つて若し支持装置が正しく真の節点を支持して居るなら、支持装置の受ける振動は極めて小さなものである事は明かであり、又実験的にも確められる事である。故に吾々は音片を支持する場合、極力支持点を正しく節点に合致せしめる事は極めて重要な事であるが、然し実際上いかに注意を拂つても、四つの支持点全部を正しく真の節点に合致させる事は可成り困難な事であつて、之等が多少節点よりずれる事は免れない。吾々が実際に支持を行つた場合、支持装置の受ける振動の大部分は、この支持点が節点を多少外れたためによるものが多いものと考えられる。

さて以上の如く運動する点を支持する場合支持装置としては次の如き条件を満足しなければならない。

(i) 支持装置が音片振動を拘束せぬ事

音片が駆動力を受けて自由に振動するためには、支持による拘束の出来るだけ小さい事が望ましい。今支持部より支持装置に加わる力を $P$ 、支持装置の力 $P$ による変位に対するステフネスを $s$ とすれば、支持装置の変位言いかえれば支持部の変位 $a_0$ は

$$a_0 = \frac{P}{s} \dots\dots\dots (9)$$

であつて $s$ の大きい程 $a_0$ は小さくなり、従つて音片の振動振巾が小さくなり、音片の振動を拘束する。よつて音片の振動を拘束せぬためには、 $s$ は出来るだけ小さくしなければならない。又音片に支持の拘束が存在すると、一般に音片の実効ステフネスが増し、その共振周波数が増加し、支持装置のしめつけ等で拘束の度合が変り、その共振周波数が多少変化することとなる。

(ii) 支持台に対する振動伝達の少い事

音片の支持部より支持装置に加る振動は、前述の機械振動系の場合に相当するものと見られる。即ち支持部が $a_0$ の振巾で振動し、この振動が支持装置をステフネスとし支持台を質量とする機械振動系に加るものである。而してこの振動は先に述べた如

く、支持点の音片中央部へ向う往復運動、又は之と直角方向の運動、或いは振り振動と三つの自由度の振動が存在し、夫々の振動に対して先の機械振動系の理論が成立するわけである。(但し振り振動に就いては変位  $x$ 、質量  $m$  に対し夫々振り変位  $\phi$ 、慣性モーメント  $I$  でおき代えれば宜い。) 従つて之等の振動が支持装置を通して支持台に伝達される事を防ぐためには(8)の振動伝達度の式より明かな如く、この機械振動系の共振角速度  $\omega_n$  が支持部の角速度  $\omega$  に比して充分小さい事が必要である。即ち支持装置は各振動に対して、充分スチフネス小さく、且つ支持台は充分重くなければならない。又支持装置は粘性減巾定数の小さい事が必要である。又その外適当な方法によつて音片振動エネルギーが支持装置及び支持台に伝達しないように工夫する事が肝要である。

### (iii) 支持装置中での振動エネルギー損失の少い事

支持台への振動伝達が少くても、支持装置中での振動エネルギー損失が多い時は、矢張り支持部よりの流失振動エネルギーが大きくなるので、支持装置は粘性減巾定数の小さい材料を用いねばならない。例えば鋼製ばね材料の如きは粘性減巾定数が極めて小さいが、ゴムの如きはそれの大きな材料である。

### (iv) 支持の确实堅牢な事

支持装置のスチフネスが余りに小さいと、支持が不安定となり周波数安定度が低下するし、場合によつては支持の役目を果さなくなる。又支持装置としても実用に差支えないよう、充分堅牢で長年の使用に耐えるものでなければならぬ。

### (v) 支持装置の取付け取外しの容易な事

之は接着型音片<sup>(4)</sup>の如く周波数温度係数の調節を行う要のある場合特に必要なものである。

### (vi) 支持の工作の容易な事

如何に理想的な支持法であつても、支持部或いは支持装置の工作が厄介では実用に適しない。

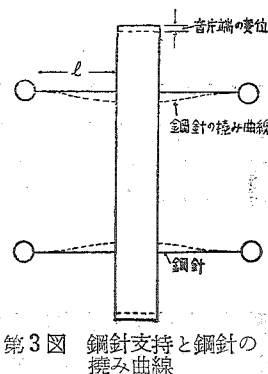
## Ⅲ 鋼針支持とスプリング支持

次に音片支持として現在用いられて居る鋼針支持とスプリング支持との比較検討を行つて見る。

### 1. 鋼針支持

鋼針が撓み振動を受ける場合、その撓みの様式は支持針の両端で水平の形を持ち、例えば節点の音片中央部への運動に対しては、その撓みは第3図に示す如くなるが(図は説明の都合上撓みは極端に誇張してある)、之を第4図に示す如き両端固定の梁の中央部に荷重した場合の撓み曲線と近似的に略々等しいとすれば、この場合の梁のスチフネス  $s_1'$  は次式で示される。<sup>(3)</sup>

$$s_1' = \frac{192 EI}{l^3} \text{ kg/cm} \dots \dots \dots (10)$$



第3図 鋼針支持と鋼針の撓み曲線

ここに  $E$  : ヤング弾性率  $\text{kg/cm}^2$

$I$  : 慣性能率

$l_1$  : 梁の長さ  $\text{cm}$

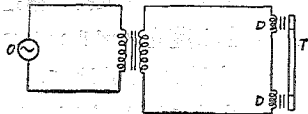


音片支持の場合支持針一本当りの長さを  $l \text{ cm}$  とすれ 第4図 両端固定梁の中央荷重の  
は  $l_1 = 2l$  であり、又音片支持全体の支持針の撓みに 撓み曲線

対するステフネス  $s_{1t}$  は(10)式で表される  $s'_1$  の2倍となる。よつて鋼針の直径を  $d \text{ cm}$  として  $s_{1t}$  を求めれば次式を得る。

$$s_{1t} = \frac{3\pi E d^4}{4l^3} \text{ kg/cm} \quad \dots\dots\dots (11)$$

又この  $s_{1t}$  の値は実験的に求める方法が簡単である。之を実験的に求めるには、音片を質量とし支持針をステフネスとする機械振動系の共振角速度  $\omega_0$  を実測する事により、次式より計算出来る。



$$s_{1t} = \omega_0^2 m \quad \dots\dots\dots (12)$$

尙この  $\omega_0$  を求める方法としては、第5図に示す如く音片の発振用コイルの一方又は両方に外部発振器より駆動電流を流しこの周波数を変化して音片が質量として共振を起す最低周波数を求める事により簡単に決定出来る。

O : 外部発振器  
D : 発振用コイル  
T : 音片

第5図 支持装置のステフネスの測定回路

次に振り振動に対するステフネスの計算式は、支持針一本に対してそれを  $s_2$  とすれば  $s_2$  は次式で表される。(3)

$$s_2 = \frac{\pi}{32} \frac{G d^4}{l} \text{ cm-kg/rad} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここに  $d$  : 針の直径  $\text{cm}$

$l$  : 針の長さ  $\text{cm}$

$G$  : 剛性率  $\text{kg/cm}^2$

音片支持全体の振り振動に対するステフネス  $s_{2t}$  は、(13)式の  $s_2$  の4倍となり次式で表される。

$$s_{2t} = \frac{\pi}{8} \frac{G d^4}{l} \text{ cm-kg/rad} \quad \dots\dots\dots (14)$$

次に一つの音片を例にとりステフネスを求めて見る。

(例1) 音片は接着型 1000~

寸法  $\left\{ \begin{array}{l} \text{長さ} \approx 10.96 \text{ cm} \\ \text{厚さ} \approx 0.245 \text{ cm} \\ \text{巾} \approx 1.05 \text{ cm} \end{array} \right.$

支持針  $\left\{ \begin{array}{l} \text{長さ } l \approx 1.90 \text{ cm} \\ \text{半径 } r \approx 4.5 \times 10^{-2} \text{ cm} \end{array} \right.$

此の支持針全体の撓みに対するステフネス  $s_{1t}$  を、針は鋼製で  $E = 21 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  として(11)式より計算で求めると、次の如くなる。

$$s_{1t} \approx 41.0 \text{ kg/cm}$$

次に之を音片を質量とし、支持針をスチフネスとする、機械振動系の共振周波数を求める方法より計算する。

この場合の共振周波数は215 $\omega$ で音片の重量は22.5gであつた。即ち  $m=23.0 \times 10^{-6} \text{kg-sec}^2/\text{cm}$ ,  $\omega_0=2\pi \times 215 \text{rad/sec}$  となるから(12)式より  $s_{1t}$  を計算すれば次の如くなる。

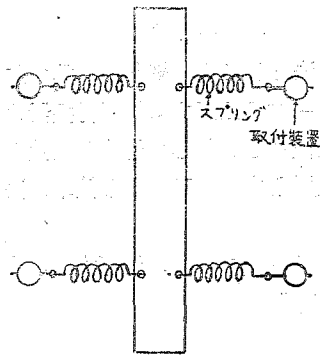
$$s_{1t} = \omega_0^2 m = 42.0 \text{kg/cm}$$

従つて先の計算値と略々等しい、即ち計算値と実測値とは略々一致する。

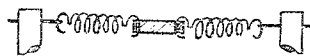
次に(14)式より剛性率  $G=8.0 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$  として、振り振動のスチフネス  $s_{2t}$  を計算すると次の如くなる。

$$s_{2t} = 12.0 \text{cm-kg/rad}$$

## 2. スプリング支持



(a) 平面図



(b) 断面図

第6図 スプリング支持音片

現在吾々が採用して居るスプリング支持の構造は第6図に示す如くである。即ち蔓巻スプリングの一方の先端を音片の節線上の小孔に引掛けて、又他の端は例えば鋼針の先端の小孔に同じく引掛けてあり、このスプリングを両側より引張つて音片を支持して居る。このような支持法に於いては、音片振動の際スプリングは伸び、曲げ、及び振りの三種の振動を受けるが、之等振動の多くがスプリングの両端に於ける蝶番部の廻転運動となり、スプリングそのものの受ける振動は極めて小さくなる。尚比較の厚さの厚い音片に対しては、この支持孔を第7図(a)に示す円筒状に対し同図(b)に示す如く鼓状に穿つ方が、この廻転運動に対する摩擦抵抗が多少小さくなる効果を有する。



(a) 円筒状孔



(b) 鼓状孔

第7図 支持孔の形状

蔓巻スプリングに於ける伸び、曲げ及び振りに対するスプリング一本当りのスチフネスの計算式は次式で表される。<sup>(3)</sup>

$$\text{伸び: } s_2 = \frac{Gd^4}{8nD^3} \text{ kg/cm} \quad (15)$$

$$\text{振り: } s_1 = \frac{Ed^4}{64nD} \text{ cm-kg/rad} \quad (16)$$

$$\text{曲げ: } s_3 = \frac{Ed^4}{64nD} \frac{1}{1 + \frac{E}{2G}} \text{ cm-kg/rad} \quad (17)$$

ここに  $D$ : 蔓巻ばね輪の直径  $\text{cm}$

$d$ : 針金直径  $\text{cm}$

$n$ : 巻数

$G$ : 剛性率  $\text{kg/cm}^2$

$E$ : ヤング弾性率  $\text{kg/cm}^2$

然し乍らスプリング支持に於いては、實際上支持部の一方向の運動に対してもスプリングは伸び、振り、曲げを受け、更にスプリングは一定の力で張られ、更には蝶番部の回転運動も存在するので、之が支持部の振動に対するステフネスを計算する事は厄介である。従つて之の大略値を求めるには、1に述べた音片を質量としスプリングをステフネスとする機械振動系の共振周波数を求める方法が容易である。

(例2) 例1における音片を輪の直径約5.0mm、線の太さ約0.5mm、捲数7の鋼製スプリングを用いて支持した場合の、スプリングの全ステフネス  $s_t$  の値を実測により求めて見る。此の場合の共振周波数は90 $\sim$ であつた。従つて  $\omega_0 = 2\pi \times 90$  rad/sec であり  $m$  は例1の場合と同じであるから(12)式より  $s_t$  を計算すると次の如くなる。

$$s_t = \omega_0^2 m \doteq 7.0 \text{ kg/cm}$$

### 3. 鋼針支持とスプリング支持の比較

以上の例1及び例2の結果より分る如く、スプリング支持の場合のステフネスは、鋼針支持の場合の撓み振動に対するステフネスのみをとつても、約1/6近くに低下して居る。此の場合鋼針支持においてスプリング支持と等しいステフネスを持たせるためには、若し鋼針の長さが同一の場合は鋼針の太さを(11)式より計算すると約0.55mmとなり、此の程度の太さの鋼針を支持するためには、鋼針を打ち込むべき節点の孔の直径は、0.45乃至0.50mm程度でなければならない。このような小さい孔を穿つことは實際上極めて困難であり、此の点鋼針支持は不利である。そこでこの鋼針支持の場合にもスプリング支持の場合と同じく、音片の節線上に穿つた小孔に引掛ける事も考えられるが、之では音片を両側により強く張る事が出来ず実用上不適当で、支持を確実にするには結局スプリングの如きものの力を借りねばならず、スプリング支持に帰するのである。又支持針の長さを長くする事も考えられるが、この場合撓みに対するステフネスは減少するが振りに対するステフネスの減少度が少く余り有効でない。此の外スプリングの代りに細い針金又は糸の如きものを支持孔に通して、両側より張力を加えて支持する方法も考えられる。此の方法は比較的ステフネス小さいが、支持が不確實で且つ弱いと言う缺点があり、実用的にスプリング支持に劣るものである。

次に鋼針支持とスプリング支持との振動伝達度を先の例の値から計算して見る。

(例3) 例1及び例2の音片に就いて鋼針支持とスプリング支持の振動伝達度を(8)式より求めて見る。但し  $c/c_0 \doteq 0$  と仮定する。今この音片装置の支持台の重量が0.51kgであつた。即ち質量  $m \doteq 0.52 \times 10^{-3} \text{ kg-sec}^2/\text{cm}$  となる。今例えば支持部に加わる振動周波数が2000 $\sim$ 、即ち音片振動の際の節点の音片中央への往復運動の周波数に就いて計算して見る。従つて  $\omega = 2\pi \times 2000 \text{ rad/sec}$  となる。

(イ) 鋼針。支持針一本当りのステフネスは例1より

$$s = \frac{42}{4} \text{ kg/cm} \quad \therefore \omega_n^2 = \frac{s}{m} = 20.4 \times 10^{-3}$$

$\therefore$  支持針一本当りの振動伝達度  $\doteq 0.013\%$

(ロ) スプリング支持。スプリング一本当りのステフネスは例2より

$$s = \frac{7}{4} \text{ kg/cm} \quad \therefore \omega_n^2 = \frac{s}{m} \doteq 3.5 \times 10^{-3}$$

$\therefore$  スプリング一本当りの振動伝達度  $\doteq 0.002\%$

即ちスプリングでは鋼針に比し振動伝達度は著しく小さい。

更にスプリング支持の重要な利点は、單に振動に対するスチフネスが小さい事、即ち振動伝達度が小さい事に存するだけでなく、先にも述べた如く、スプリング両先端が蝶番になつておるため、スプリングそのものに加る振動が始めから小さくなると云う事であつて、之が此の振動伝達度の小さい事と相まつて、鋼針支持に対して優れた効果を有するものであり、之が共振尖鋭度の向上更には周波数温度係数の向上に、大きな利点を與える事になるのである。

#### 4. 音片の小型化

従来の鋼針支持法では音片の厚さが薄くなり、厚さと支持針の太さの相対比が小となつて来ると、支持損失が急激に増大し、更に薄くなれば振動を抑制して遂には振動不能となる。勿論音片が薄くなるに従つて支持針を細くすれば良いのであるが、實際上鋼、Invar, Elinvar 等の材料に細い孔を穿つことが技術的に極めて困難となるばかりでなく、たとえ穿ち得たとしても余りに細い針で支持することは、支持の確實堅牢と云う面から実用上支障を來たすこととなる。これは全体の形状が必然的に大きくなる低い振動数の音片では、殊に支持針を細長くすることは出来ない。以上の如き理由より通常の音片に於ては厚さ 2 mm 以下の音片は余り使用されない。一方音片の形状を出来るだけ小型にしたいと言う要求がある。即ち音片が小型になれば材料の経済は勿論支持台も小型になり、更に恒温槽に封入するなら、之も小型となり、装置全体として極めて小型軽量のものとなる。特に形の大きな低い振動数の音片では、此の小型化の要求が強いわけである。諸音片の振動数  $f$  と厚さ及び長さの間には次の関係がある。

$$f \propto \frac{[\text{厚さ}]}{[\text{長さ}]^2} \quad \dots\dots\dots (18)$$

即ち振動周波数は厚さを増せば増大し、長さを増せば減少する。然し厚さは 1 乗で長さは 2 乗で利くので、同一周波数の音片では厚さを 2 分の 1 にすれば長さは約 7 割に短縮される。又同一周波数で長さを 2 分の 1 にするには厚さを 4 分の 1 に減少せねばならない。

第 1 表 音片周波数と寸法の関係

振 動 数	厚 さ * [mm]	長 さ * [cm]
1000 ♪	3.0	12.0
	2.0	9.8
	1.0	7.0
	0.5	4.9
300 ♪	2.5	20.0
	1.0	12.6
	0.5	8.8
50 ♪	2.5	49.0
	1.0	31.0
	0.5	21.6

\* Steel-Invar 接着型音片の概略値

さの薄い音片に対しても支持可能で、音片の小型化が実現出来る。此の点についてもス

即ち音片の形状を小型にしよう  
とすれば極めて厚さの薄い音片を  
用いねばならぬので、厚さの薄い  
音片でも充分実用可能な共振尖鋭  
度を保つ如き支持法が必要とな  
る。尙参考のため二三の周波数に  
就いての厚さと長さの概略値を第  
1 表に示す。之に対しスプリング  
支持にあつては、その音片の振動  
面に支持孔を穿つため、いかに厚



プリング支持が鋼針支持に優る点である。

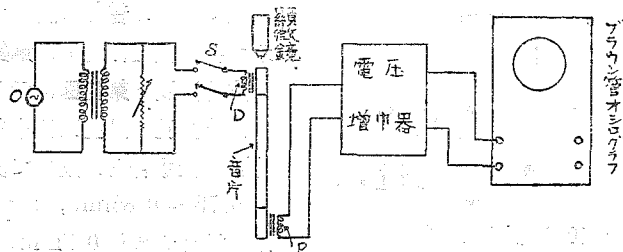
#### IV スプリング支持音片の共振尖鋭度

スプリング支持方式が果して適当なものであるかどうかを調べるため、本支持法を用いた音片の共振尖鋭度 $Q$ 及び対数減衰率 $\delta$ を測定したが先づその測定法より述べる。

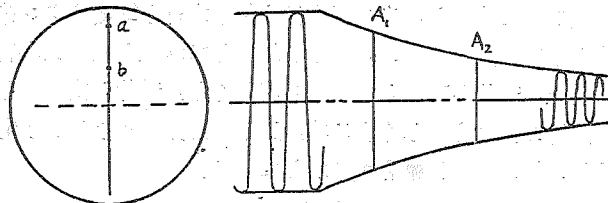
##### 1. $Q$ 及び $\delta$ の測定法

$Q$ 及び $\delta$ の測定法は種々あるが<sup>(1)(2)</sup>何れも夫々難点があるので、次の如き方法<sup>(5)</sup>によつて測定を行つた。第8

図にその測定回路を示す。先づ供試音片を外部発振器 $O$ により共振せしめ、この振動をピックアップ線輪 $P$ により取出し、電圧増巾してブラウン管オシログラフに入れる。ブラウン管には水平掃引を与えず、振動振巾は単一線の垂直振巾を画く如くしてある。而して第9図(a)に示す如くの垂直振巾 $A_1$ の位置とその $1/m$ の振巾 $A_2$ の位置に印 $a, b$ を附して置く。



第8図 共振尖鋭度 $Q$ の測定装置図



(a) ブラウン管面上の振動振巾

(b) 減衰自由振動曲線

第9図 減衰自由振動の説明図

又電圧増巾器には利得調

節器を附し、その目盛と利得との較正をして置く。俟音片が共振状態にある場合、 $S$ の開閉器を開くと音片は以後減衰自由振動を行いながら第9図(b)の如く次第に減衰し、それに伴つてブラウン管上の垂直振巾も次第に減少して行く。此の垂直振巾が $a, b$ 二点間を通過する時間をストップウオッチで測定して之を $t$ 秒とする。音片の共振周波数を $f$ サイクルとすれば、振巾 $A_1$ と $A_2$ との間のサイクル数は $ft$ となり、 $Q$ 及び $\delta$ は次式によつて計算される。<sup>(6)</sup>

$$Q = \frac{ft\pi}{\log_e \frac{A_1}{A_2}} = \frac{ft\pi}{2.3 \log_{10} m} \quad (19)$$

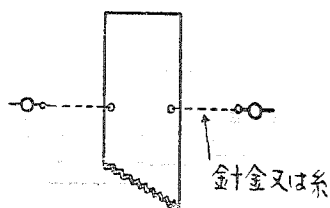
$$\delta = \frac{\pi}{Q} = \frac{1}{ft} 2.3 \log_{10} m \quad (20)$$

但しこの $Q$ 及び $\delta$ を振巾 $(A_1 + A_2)/2$ に於ける $Q$ 及び $\delta$ と決める。

次に増巾器の利得を利得調節器によつて $n$ 倍にして同様の測定を行えば、先の振巾の $n$ 分の1に於ける $Q$ 及び $\delta$ が得られる。此の方法を繰返せば、音片の振動振巾と $Q$ 及び $\delta$ の関係曲線が求まるわけである。尙振動振巾は音片の端における振巾をスケール入りの

顕微鏡によつて測定した。吾々の測定の場合  $m=2$  即ち  $A_1/A_2=2$  で測定した。ある振動振巾に於ける  $Q$  又は  $\delta$  と云う場合、 $m$  の小さい方が正しい値に近いものが得られる筈であるが、測定側から言えば  $m$  の大きい程測定時間が大きくなり測定し易いばかりでなく時計の誤差も少くなる。特に周波数の高い音片又は  $Q$  の著しく低い音片では、 $t$  が小さくなるので  $m$  の大きい程都合がよい。然し実際問題として  $m$  の大小は測定誤差範囲にあり余り問題とならず、 $m=4$  程度までは著しい誤差を生じない。このような測定法によつて少しく熟練すれば、充分正確な  $Q$  及び  $\delta$  の値を簡単に測定出来る。

## 2. 測定結果



第10図 針金又は糸による支持

次に種々の音片に就いての  $Q$  及び  $\delta$  の測定結果を示す。尙測定は従来の鋼針支持法と新しいスプリング支持法及び第10図に示した如く、スプリングの代りに支持孔に針金又は糸を通して、之を両側より強く張つた場合とに就いて測定を行つた。鋼針は太さ約  $0.75 \sim 0.85\text{mm}$ 、スプリングは輪の直径約  $5.0\text{mm}$ 、線の太さ約  $0.5\text{mm}$ 、巻数  $5 \sim 8$  程度の鋼製ス

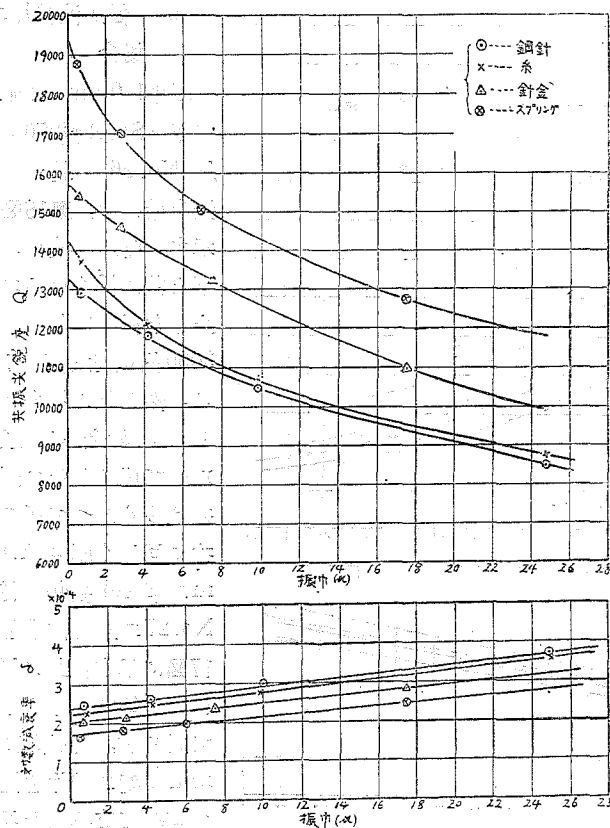
プリングを約  $1.5\text{kg}$  程度の荷重で張つて用い、針金は各支持点当り  $0.3\text{mm}$  の太さの鉄線往復二條で支持し、糸の場合は木綿6本縫り20番カタン糸往復四條で支持し、実用上差支えない程度の支持の確實さを維持して測定した。又各音片に就き支持台は同一のものを用い、音片と磁極との間隔も等しくし、音片と支持のしめつけ装置との間の間隔、即ち支持の長さも等しくする等、比較に充分便利なるよう考慮を拂つた。尙供試音片の寸法その他の詳細は第2表に示してある。

第2表 共振尖鋭度測定音片の寸法等

音片番号	振動数 (サイクル)	材 料	長さ (mm)	厚さ (mm)	巾 (mm)	磁極空隙 (mm)	備 考	図 番 号
No. 6	1000	Steel	113.2	2.47	9.8	1.6	鋼針の太さ $\approx 0.85\text{mm}$	第11図
No. 41	1000	Steel-Invar 接 着	117.0	2.50	11.2	1.6	鋼針の太さ $\approx 0.75\text{mm}$	第12図
No. 5	1000	Steel	96.6	1.55	10.0	1.6	鋼針の太さ $\approx 0.75\text{mm}$	第13図
No. 33	1000	Steel	60.4	0.70	10.0	1.6		第14図
No. 7	1000	Steel-Invar 接 着	66.3	0.91	10.7	1.6		第15図
No. 26	270	Steel	146.0	1.00	9.7	2.3		第16図
No. 27	46	Steel	336.0	1.00	10.1	3.5		第17図

### (a) 充分厚い音片の場合

厚さ  $2.47\text{mm}$  の充分厚い Steel 製  $1000\sim$  音片 No. 6 の測定結果を第11図に示す。又

第11図 充分厚い音片の振動振巾対 $Q$ ,  $\delta$  特性

な支持状態の下では、スプリングの方がはるかに優れて居ると言う点に関しては疑いない。

#### (b) 比較的薄い音片の場合

次に厚さ1.55mmの比較的薄い Steel 製 1000 $\sim$  音片 No. 5 についての比較を 第13図に示す。之より明かな如く鋼針の場合には $Q$ の低下が著しいが、スプリング及び針金の場合にはそれ程でなく、米の場合はその中間となつている。而して鋼針と最も $Q$ の高いスプリングとでは、同一振動振巾で比較すると、後者は前者に比し3倍近くの $Q$ を有して居る。即ち従来の支持法では音片の厚さが薄くなるにつれて支持損失がいかに増大するかが分る。更に音片の厚さを薄くすれば、鋼針による支持では逆に振動を抑制して音片の振動を不能とする。よつて新しい支持方式によるより外はない。

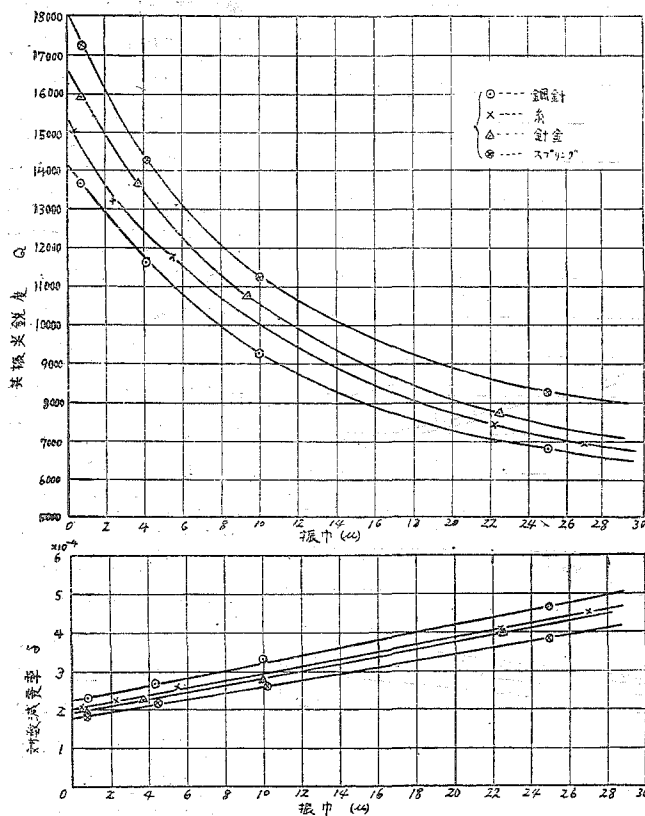
#### (c) 極めて薄い音片

上述の如く極めて薄い音片に対しては、従来の鋼針による支持は全く不適當なので、新しい支持法の間だけで比較を行つた。厚さ0.7mm Steel 製 1000 $\sim$  No. 33 音片の場合の比較を 第14図に示す。又厚さ0.91mmの接着型 1000 $\sim$  音片 No. 7 の場合を 第15図に示す。之等の場合 (a), (b) に比して $Q$ が可成に低下して居るが、スプリングの場合は尚 4000 乃至 5000 を有し、充分実用出来る程度の値を持つて居る。

第12図に厚さ2.5mmの接着型1000 $\sim$ 音片No. 41の測定結果を示す。本測定例より分る如くスプリング、針金、米、鋼針の順に $Q$ が低下して居り、等しい振動振巾に於てはスプリングの方が鋼針の場合より20~40%も高い。即ち従来の支持方式に対し新しい支持方式、殊にスプリングによる支持は極めて $Q$ が向上して居る。

但し以上の測定結果は必ずしも鋼針による支持がスプリングによる支持より支持損失が大きいと断定するものでなく、鋼針の場合でも一応実用を離れて更に細く且つ長い針で支持したなら、大きな $Q$ が得られる筈である事は前述の通りである。

然し乍ら実用上略々同様

第12図 充分厚い接着型音片の振動振幅対  $Q$ ,  $\delta$  特性

示して居る。この場合はスプリング、針金、米の間に殆んど差が表れて居らない。

### 3. 各支持方式の比較

従来の支持方式たる鋼針による支持と新しい支持方式たるスプリング、針金、米による支持を、以上の実験結果及び支持条件に対する適応の程度から比較検討して、次の如き結論が得られる。

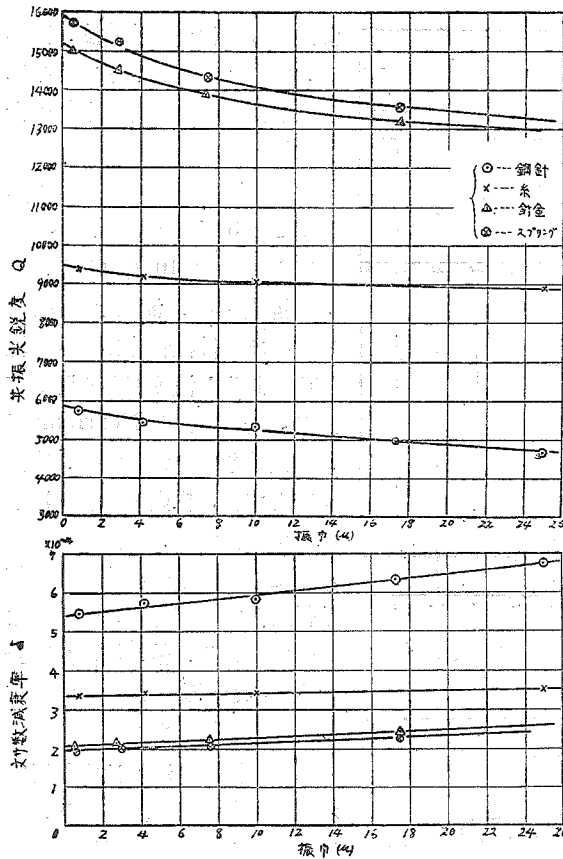
(i) 新しい支持方式は従来の支持方式に対し略々同様な支持状態の下では著しく支持損失が小さい。特に薄い音片に対してはその差が大きい。又新しい支持法の中でスプリングによる支持が、最も損失小さく音片の小型化が可能となつた。

(ii) 支持の确实さから言えば、従来の鋼針による支持法が最も優り、次にスプリング、針金、米の順となる。又堅牢と言う点から言えば、鋼針は少々もすると折損又は曲り易い缺点があり、針金は細いので多少切れ易い。米は最も弱い。スプリングは最も丈夫であるが、弾性限度の小さいものでは強く張つた時伸びてしまうおそれがあるから、充分良質のものを必要とする。

(iii) 取付け取外しはスプリングが最も容易で鋼針、針金、米の順となる。支持のため音片に加える工作は新しい支持法が容易である。

### (d) 低周波音片の場合

厚さ1.0mmの極めて薄いSteel製270 $\mu$ 音片 No.26 に就いての測定結果を、第16図に示す。 $Q$ が周波数の低下と共に低くなるのは止むを得ないが、なお3000程度を有して居る。然し此の場合スプリング、針金、米の順となつて居るがその間の差は少なくなつて居る。次に同じく厚さ1.0mmのSteel製46 $\mu$ 音片 No.27の測定結果を第17図に示す。此の場合は $Q$ が1000以下となつて居るが、之は厚さ2.5mm程度の音片を従来の鋼針で支持した場合と、略々同程度の $Q$ を



第13図 比較的薄い音片  
の振動振幅対  $Q$ ,  $\delta$  特性

ラウン管オシログラフの垂直軸に一方の周波数を加え、他の周波数は時間軸外部同期に加えて、ブラウン管面上の周波数の移動、或いは両周波数のリサーチ図形の移動より測定した。

なお本文において述べる如くスプリング支持音片の周波数温度係数は極めて微小となるが、之が測定の際に用いる標準周波数及び被

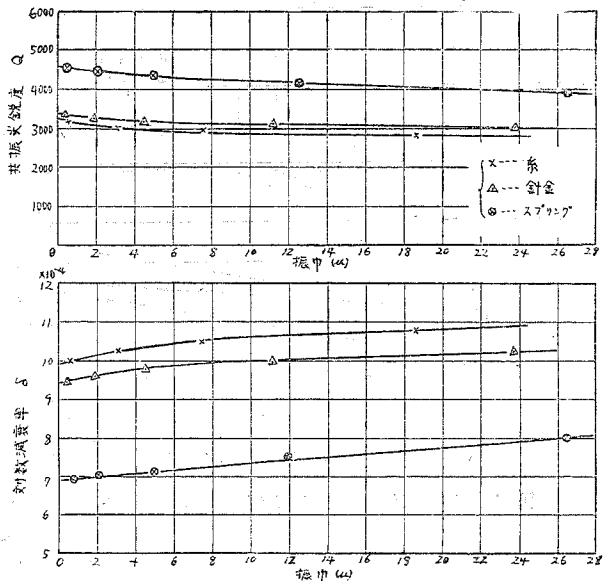
以上総合してスプリングが支持の确实さに於て鋼針に多少劣るが、その他に於てすべてすぐれて居り、略々理想に近い支持方法と考えられる。

## V. スプリング支持 音片の周波数温度 係数

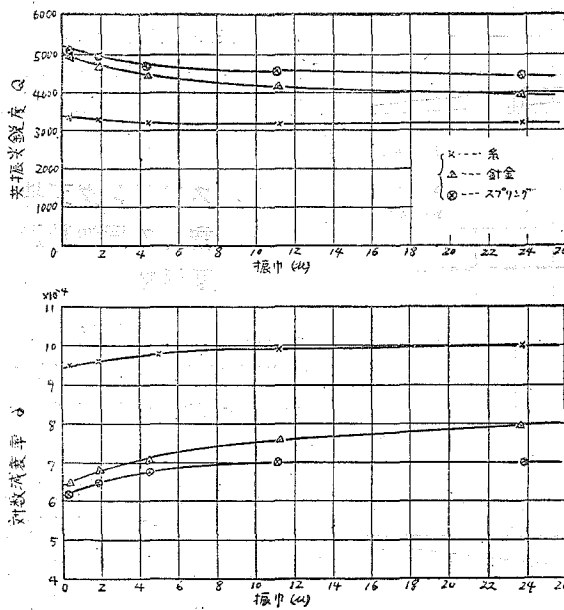
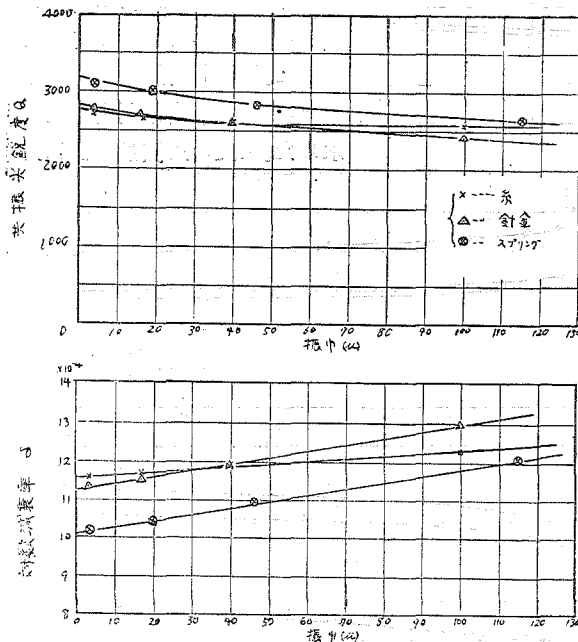
次にスプリング支持音片の周波数温度係数の実測値を示すと共に鋼針支持の場合と比較検討を行った。

### 1. 周波数温度係数の測定法

測定は被測定音片発振器の音片を恒温槽中に封入し、之が温度を段階的に変化して、その発振周波数を研究室に備えつけた標準音片発振器周波数と比較して、両者間の周波数偏差を測定して温度対周波数偏差曲線を描き、之より周波数温度係数を求めた。又此の周波数偏差は、ブ



第14図 極めて薄い音片の振動振幅対  $Q$ ,  $\delta$  特性

第15図 極めて薄い接着型音片の振動振巾対  $Q$ ,  $\delta$  特性第16図 低周波数音片の振動振巾対  $Q$ ,  $\delta$  特性

測定周波数は充分安定度の高いものでなければならない。次に我々が測定に際し考慮を拂つた事を述べて見る。

(a) 標準周波数は測定時間中に  $2 \times 10^{-7}$  程度以下の安定度を有しないと  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台の周波数温度係数の測定は出来ない。標準周波数音片は二重恒温槽中に封入し温度変化を防いで居る。発振回路はNorrman氏の回路<sup>(7)</sup>を用い電源電圧の変動に対しては、自動電圧調整器を用いて交流電圧の変動を防ぎその上定電圧放電管、安定抵抗管を併用して電源電圧の安定化を計つた。又その他の周波数変動を生ずべき要素<sup>(8)</sup>に対しても充分の対策を講じた。

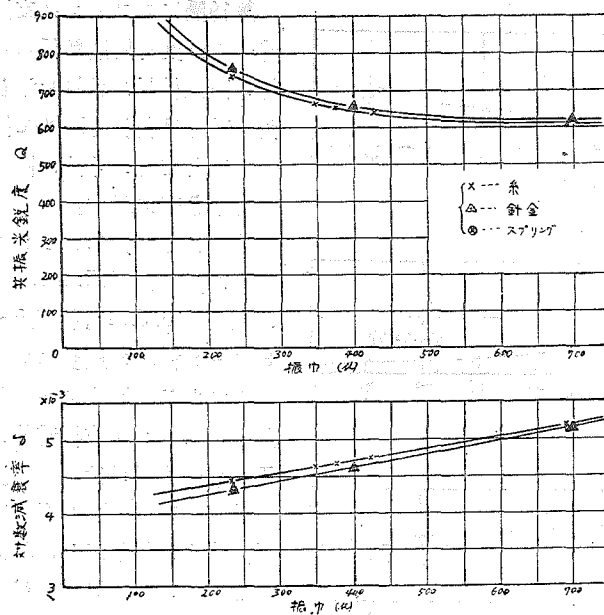
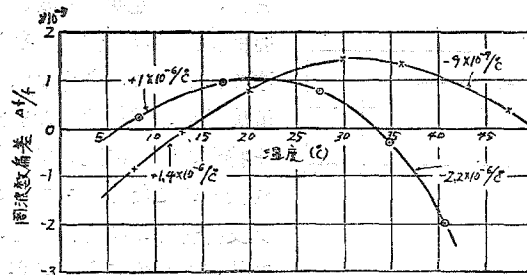
(b) 標準周波数は之を用いて同期電気時計を運転しその歩みを監視し、又標準電波との比較も行つたが本標準周波数は測定時間内に於いては  $2 \times 10^{-7}$  或いはそれ以下の安定度を有して居るものと思われた。

(c) 被測定周波数に就いても略々同程度の安定度が必要であるが、之に対しても上述の標準周波数の場合と全く同様に安定化した。

## 2. 鋼針支持音片の周波数温度係数

従来の支持方法たる鋼針支持を用いた場合に於いて、その周波数温度係数は、特殊合金を用いた時は通常  $\pm 10 \sim 50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

程度であり、又稀にはあるが  $\pm 5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度のものも得られて居る。<sup>(8)</sup> 又

第17図 極めて低い周波数音片の振動振幅対  $Q, \delta$  特性

第18図 鋼針支持音片の温度対周波数特性

更に鋼針支持の場合は温度係数が微少になつて来ると、第18図に示す如く、広い温度範囲に亘り直線的とならず彎曲する事が多い。従つてこのような場合、之を調節して $10^{-6}$ 台に持つて来ても、広い温度範囲に亘つて一様に温度係数を微少にする事は出来ない。又このように彎曲する場合、若し恒温槽を使用するとすればその山の部分を使用温度に

第3表 温度係数測定音片の寸法

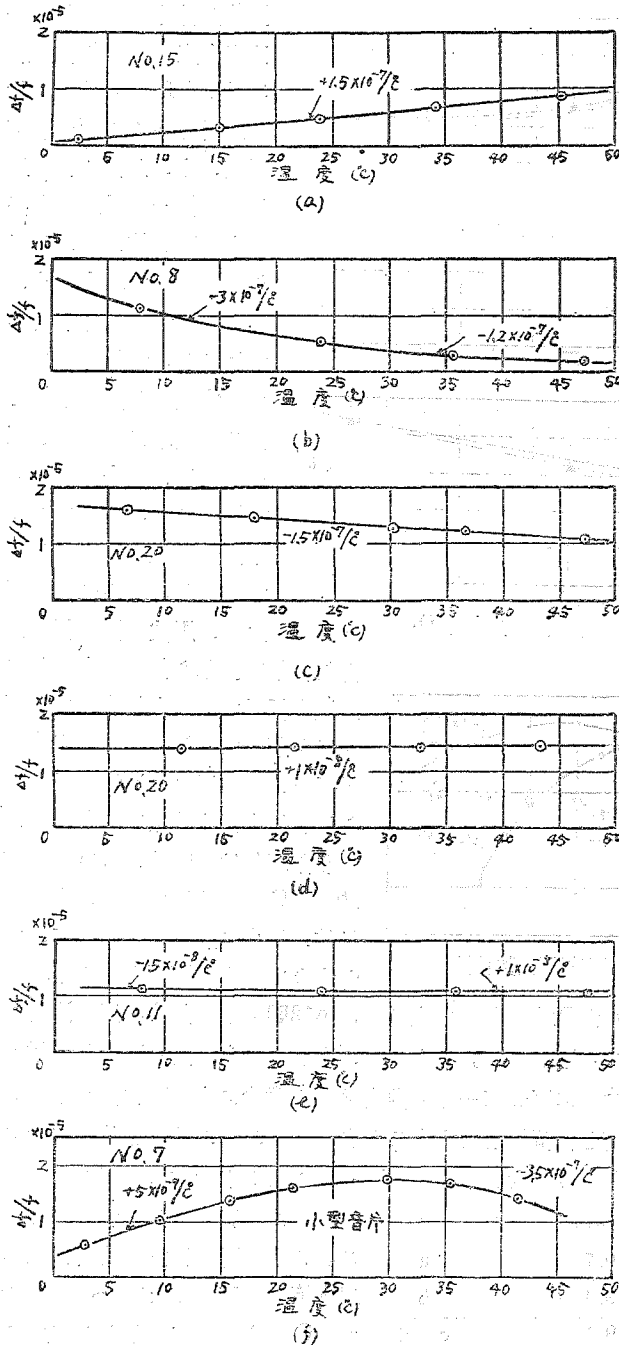
音片番号	長さmm	厚さmm	巾mm	備考	図
No. 15	94.0	1.80	10.7		(a)
No. 8	107.9	2.40	9.4		(b)
No. 20	109.6	2.46	9.1		(c) (d)
No. 11	98.0	2.00	10.0		(e)
No. 7	66.3	0.91	10.7	小型音片	(f)

接着型音片を用いた場合は現在広く用いられて居る Steel-Invar 接着音片で通常  $1 \sim 3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度のものが得られて居る。(8) 接着型音叉でも略々之に近い値のものが得られ、従つて現在多くの場合、接着型音片を用いて居るが、大体  $\pm 1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度が良好な値である。簡単に考えれば正負両素子の割合を丁寧に調節すれば、極めて微少な温度係数が得られる筈であるが、実際には調節通りの周波数温度係数が

得られない。即ち例えば今僅かに正温度係数であつた場合、之が正素子を削つて調節しても、必ずしも吾々の期待通りの温度係数を得られぬ場合が少くない。勿論このような現象は、音片の温度係数が  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  或いはそれ以下の小さな数値の場合に就いてであつて、之が大きい場合は問題とならない。

一致せしめればよいわけであるが、この調節も少からず厄介である。よつて吾々は実用的には広い温度範囲に亘つて  $\pm 1 \sim 3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度を以てよしとして居るのである。

### 3. スプリング支持音片の周波数温度係数



第19図 スプリング支持音片の温度対周波数特性

第19圖にスプリング支持音片の温度対周波数偏差曲線の測定結果の数例を示した。音片は何れも1000 $\sim$ 接着型音片でその寸法の概略値を第3表に示す。

支持に用いたスプリングは輪の直径約4.5mm、線の直径約0.5mm、捲数5 $\sim$ 8ターン程度の鋼製スプリングである。図より明かな如くスプリング支持音片の周波数温度係数は、広い温度範囲に亘り(約50 $^{\circ}\text{C}$ )  $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  台の値を示し、特に小さいものでは  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  の値を示した。更に重要なことは、この温度対周波数偏差曲線が略々直線的となる事である。このような微小温度係数の音片は、たまたま特別の音片に就いて得られたものでなく、スプリング支持音片の場合は、どの音片でも調節によつて容易に得られるもので、特に綿密に調節すれば同図(d), (e)に示す例の如く、 $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台も得られるのである。又例えば同図(c)及び(d)の曲線は同一音片であつて、(d)は(c)の場合を更に調節して得られたものである。然し乍らスプリング支持の場合でも支持状態が適当でないと、この温度対周波数偏差曲線が彎曲するの

であつて、若しこの曲線が著しく彎曲する場合は、支持状態が不良なものと考えて大き



な間違いはない。又同図(f)に示す小型音片では、この曲線の彎曲が見られるが、之はスプリングを他の厚さの厚いものと略々同一のものをを用いたため、支持の影響が充分除去されぬものと考ええる。尙同図に於いて(d), (e)の如き  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台の温度係数の音片の場合、その曲線の傾斜から例えば  $+1 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  と言う如き数値を入れてあるが、之は飽く迄も参考的に算出したもので、之がその音片の周波数温度係数の絶対的数値を示すものではなく、大体その程度の値を有すると言う事を意味するものである。それは  $1 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台程度の小さな値に於いては、測定値の精度は測定誤差或いは標準周波数及び被測定周波数の安定度等の問題から、温度係数の絶対値を測定する事は、現在の所頗る困難であるからである。然し  $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  台の数値の温度係数については以上の如き問題はない。

以上の実験例に示す如く広い温度範囲に亘り温度係数が  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台、即ち現在の水晶振動子中で最も温度係数の小さいGTカットの温度係数<sup>(9)</sup>に匹敵する如き、微少温度係数の得られた事は極めて注目すべき事であろう。

#### 4. 支持の周波数温度係数に及ぼす影響の考察

先に述べた如く鋼針支持の場合は、音片の振動に伴い支持針を通して多少の振動伝達が見逃れない。従つて支持針、支持台等の振動が生ずるため音片の取付け具合、即ち取付けの際の支持針の有効長の変化、或いは取付けの際の支持針のしめつけの強弱等によつて、エネルギー伝達の割合が変化し、共振周波数や共振尖鋭度が変化し、又周波数温度係数に対しても、支持針、支持台等が音片に影響を及ぼす。即ち支持針のヤング弾性率の温度係数、支持針の線膨脹係数、更には支持台等の音片に対する影響の温度による変化等が、音片自体の周波数温度係数に影響して来て、之等を合せたものが見かけの周波数温度係数として現れて来る。即ち音片の取付け、支持針のしめつけの強弱等によつて、僅かではあるが周波数温度係数が変化して来るため、特に温度係数の小さい範囲に於いてこの影響が著しくなり、音片の温度係数の調節が極めてデリケートとなるのである。更にこの温度による鋼針の伸縮が、音片支持部に圧力を加えると共に、支持針内部に機械的歪を生じ、場合によつては音片と磁極との空隙、或いは相互位置の変化等の生ずる事も考えられる。以上の如き種々の理由のため鋼針支持の場合は音片の温度係数の調節にかかわらず、微少周波数温度係数を得る事が困難で、且つ温度対周波数偏差曲線が彎曲するものと考えられる。然るにスプリング支持の場合は、スプリングを通して支持台へ伝達されるエネルギーが殆んどないため、理想的支持法に近い。言いかえれば支持の影響が殆んどないため、音片自体の共振周波数で振動し、音片の取付け状態、スプリングの引張りの強さ、スプリングを支持台に取付ける際のしめつけの強さ等には殆んど無関係であり、従つて周波数温度係数に就いても同様に音片自体の周波数温度係数を示す。又スプリングの温度による長さの方向の伸縮も、音片自体への圧力としては殆んど働かない。

以上の如き理由から温度対周波数偏差曲線は略々直線的となる。又その周波数温度係数は、音片自体のそれを現すため、調節容易で且つ綿密な調節を行えば、 $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  或いはそれ以下のものも得られるのである。尙スプリング支持の場合でもスプリングが剛す

ぎる場合、スプリングが振られて張つてある場合、スプリングが正しく側方に張られぬ場合、スプリングの引掛け具合の不良な場合、或いは支持が節点を外れて居る場合等の如く、スプリングが音片に対して不自然な力を及ぼして居る場合は、その温度対周波数偏差曲線が彎曲する事が多いから充分注意しなければならない。又之が著しく彎曲する場合は逆に支持の不良なものと見てよいようである。この支持状態が不良で温度対周波数偏差曲線が彎曲する時、場合によるとこの見かけの周波数温度係数が、一見良好な値を呈する事があるので、此の点も注意を要する。以上の結果より分る如く、吾々が鋼針支持を採用して居つた時、温度対周波数偏差曲線の彎曲は、多く材料の特性、或いは両接着素子の線膨脹係数の差による音片の曲りの影響等と考えられて居つたが、本研究結果より分る如く之は主として支持の影響であつて、上述の如き影響は殆んど存在せぬ事が明かとなつた。もつとも両者の伸びの差による彎曲の影響は、長さの長い音片においては之が利いて来る事も考えられるが、少くとも長さ10cm内外の音片に就いては、之等の影響は殆んど現れて居らない。

更に本研究結果より次の如き事が言える。即ち振動子材料の研究等を行う場合、若し假りに之等材料の周波数温度係数が極めて微少であつた場合は、鋼針支持音片の如きものをを用いたのでは真の値を測定する事が出来ない。特に音叉の如く支持部よりのエネルギー流失の極めて大きい振動子では、微少温度係数を求める事は殆んど不可能でないかと考えられる。

なお例えば  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  台の温度係数の長期間に亘つての変動性、或いは長い音片（低周波音片）の周波数温度係数に対するスプリング支持の効果等に就いては、更に改めて御報告いたしたい。

## Ⅶ スプリングの張力、支持台、保持位置の影響等に就いて

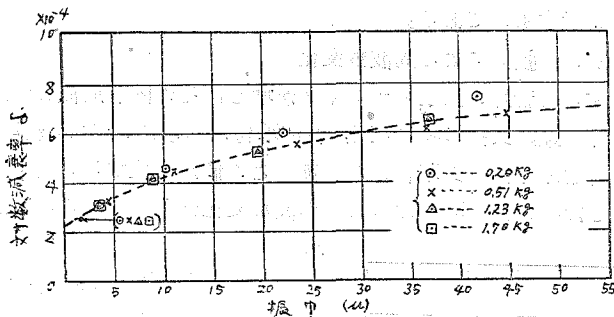
次にスプリング支持音片の特性に関して行つた二三の実験について述べる。

### 1. スプリングの張力と支持損失との関係

音片の支持スプリングの張力を変化して、支持損失の増減を調べた。

使用音片	1000 $\sim$ 接着型, No.30
	長さ109.6mm, 厚さ2.47mm, 巾10.8mm
スプリング	線の直径 0.5mm, 輪の直径 4.5mm
	巻数 7, 鋼製
	伸びのステフネス 約 1.96kg/cm

測定は本スプリングを 0.20kg, 0.51kg, 1.23kg, 及び 1.70kg の荷重を加えた場合に等しい張力で引張つて、夫々の場合の振動振巾と  $Q$ ,  $\delta$  の関係を測定した。尚之等の張力に対する支持スプリング全体の実効ステフネスを実測した結果、夫々 5.8kg/cm, 7.3kg/cm, 8.2kg/cm, 9.0kg/cm であつた。本測定結果を第20図に示す。(比較に便利のため振巾対対数減衰率  $\delta$  の関係を示した。) 図より明かな如く張力による支持損失は、張力 0.51kg の時最小値を示したが、張力の大きい 1.23kg, 或いは 1.70kg の場合でもその支持損失の増加は微少であり、かえつて張力の最小の 0.20kg の場合支持

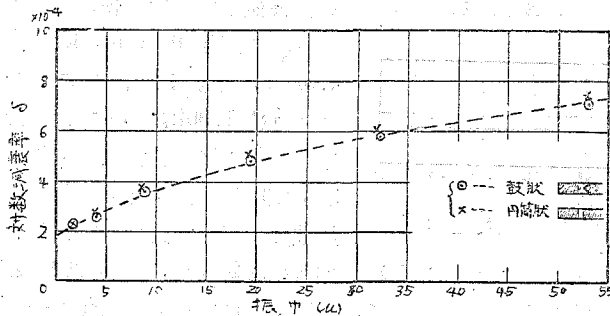


第20図 スプリング張力と支持損失特性

上述の如くスプリングの張力を大きくしても、支持損失の増加が殆んどない事は極めて好都合の事で、スプリングを充分強く張つて、支持を確実に保つ事が出来る。現在吾々は上記の如きスプリングを 1.0~1.5kg/cm 程度の荷重に相当した力で引張つて支持しておる。然しながらスプリング支持は鋼針支持に比し、支持ステフネスが小さく、外部振動に敏感なので実用に際し、音片装置をスプリング又はゴム紐等で吊る等の方法で、充分防振対策を講ずる必要がある。

なお同一音片を線の直径 5 mm, 巻数 7, 伸びのステフネス約 2.12kg/cm の鋼製スプリングで支持した場合、 $\delta$  が同一振動振巾の所で約 5% 程度大きくなり、支持損失が若干増加した。然しこの場合もスプリングの張力には殆んど無関係であつた。

## 2. 支持孔の形状の影響



第21図 支持孔形状損失特性

比較的に厚い音片の場合支持孔の形状を、第7図に示した如く鼓状に穿つ事が、引掛けの蝶番作用の摩擦損失少く有効である。之が比較の一例を第21図に示す。使用音片は厚さ 2.5mm の 1000 $\sim$ 接着型音片で、使用スプリングは線の直径 0.5mm, 輪の直径 4.5mm, 巻数 7 又伸びのステフネス約 1.96kg/cm で、之を約 1.30kg 重の荷重を加えた場合に等しい力で引張つて使用した。又円筒状孔の直径は約 0.85mm で鼓状孔の最小直径部が之と等しくなっている。本図より明かな如く鼓状にした場合、支持損失が若干低下する事が分る。

このように支持孔の形状は鼓状の方が多少優れて居るが、然し一方接着型音片の温度係数の調節の際音片巾を削つて行くため、応々支持孔部迄達する事がある。之に対しては鼓状孔は円筒状に比して多少不利である。スプリングの線の太さ、或いはこの支持孔の形状によつて、支持損失の多少変化する事は、スプリング支持法では此の引掛け部が

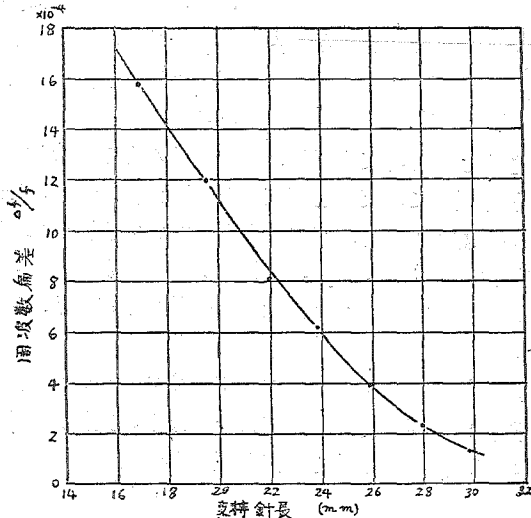
損失の増加が著しい。之は音片の支持が緩すぎると支持部に於いて、音片とスプリング鉤部が衝突して震動 (chattering) を起すためであると考えられる。実際上更に張力を緩めると、明瞭に支持部における震動音が聞かれる。

比較的に厚い音片の場合支持孔の形状を、第7図に示した如く鼓状に穿つ事が、引掛けの蝶番作用の摩擦損失少く有効である。之が比較の一例を第21図に示す。使用音片は厚さ 2.5mm の 1000 $\sim$ 接着型音片で、使用スプリングは線の直径 0.5mm, 輪の直径 4.5mm,

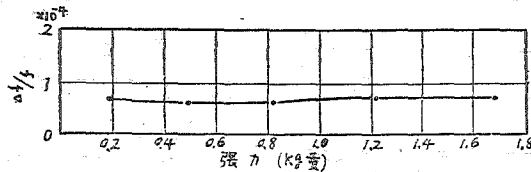
重要な役割を果して居る事を示すものである。

### 3. 音片取付け及びスプリング張力による周波数変化

音片に支持の拘束が存在すると音片の実効ステフネスが増し、その固有周波数が上昇する。例えばある1000 $\sim$ 音片で鋼針支持の場合、支持台に取付ける事によつて、約2.5 $\sim$ 即ち  $2.5 \times 10^{-3}$  の周波数上昇を示した。又取付けの状態でこの値が変化する。之に対し同一音片をスプリング支持した場合は、取付けによる周波数変化は殆んど見られなかつた。



第22図 支持針長による周波数変化特性



第23図 スプリング張力による周波数変化特性

又鋼針支持の場合は鋼針の長さを増すと、支持による附加ステフネスの減少と音片の実効質量の増加のため、固有周波数が低下する。第22図に支持針長に対する固有周波数変化の測定の一例を示す。

之に対しスプリング支持に於いては、スプリングを引張る張力を変化しても、即ちスプリングの伸びを変化しても、その固有周波数の変化は極めて少い。第23図にスプリング張力に対する周波数変化の実測例を示した。使用スプリングは線の直径 0.5mm、輪の直径 4.5mm、巻数7で伸びのステフネスは約 1.96kg/cmであつた。なお之等の測定は測定中に於ける磁極空隙を一定に保ち、その共振周波数の変化を見たのである。本

測定に於いて磁極空隙は極力一定にしたが、なお磁極空隙の微細変化、或いは音片と磁極との相対位置の変化を完全に防ぐ事は出来ぬので、本図に表れた程度の変化は一体果してスプリング張力の変化に基くものであるか、磁極の影響によるものであるか区別出来ない程度である。何れにしても、スプリング張力変化による固有周波数の変化は極めて少い事が分る。

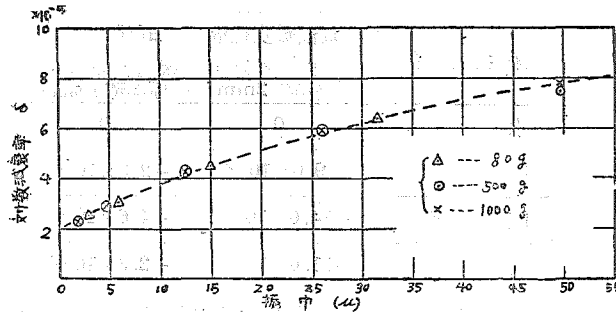
以上の如き諸点もスプリング支持の利点である。

### 4. 支持台の影響

鋼針支持の場合は支持台に多少の振動伝達が免れないので支持台を机上に置いた場合、支持台も振動し、特に支持台の軽い時は多少Qが低下する。之に対しスプリング支持の場合の支持台の重量と支持損失の関係を調べた。

使用音片 { 1000 $\sim$ 接着型, No.8  
長さ107.8mm, 厚さ2.42mm, 巾9.5mm,

支持台	(イ) 厚さ 2 mm,	重さ約 80g,	アルミニウム板
	(ロ) 厚さ 4.5 mm,	重さ約 500g,	真鍮板
	(ハ) 厚さ 9.0 mm,	重さ約 1000g,	真鍮板



第24図 支持台の重量と支持損失特性

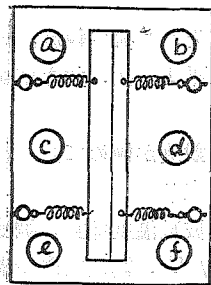
以上三種の支持台に就いて之を机上に水平に置いて、振動振巾と対数減衰率との関係を求めた。測定結果を第24図に示す。

図より明かな如く支持台の重量は、支持損失に対し殆んど無関係な事が分つた。特に重さ80gの軽い支持台でも支持損失の増加の

ない事は、支持台に対する振動伝達の殆んど無い事を示し、前のスプリング張力の場合の結果からも推察されるように、スプリング引掛けの蝶番作用が極めて有効に働いている結果と考えられる。

#### 5. 支持台に質量を附加した場合の周波数変化

音片発振器において、音片支持台の各所に質量を附加した場合の、周波数変化を調べた。使用音片は1000 $\sim$ 接着音片で支持台として厚さ2 mm, 重さ約80gのアルミニウム板の場合と、厚さ4.5 mm, 重さ約500gの真鍮板と用い之を机上に水平に載せて測定した。質量附加の位置を第25図に示す。附加質量としては一ヶ所当り重さ600gの錘を用いた。測定結果を第4表に示す。



第25図 附加質量の位置

第4表

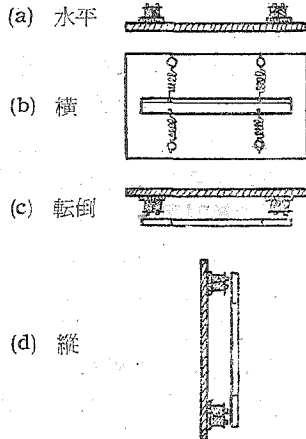
附加質量の位置	周波数変化量 $\Delta f/f$	
	アルミニウム台	真 鍮 台
c. d の二点	$-15.0 \times 10^{-6}$	$-1.0 \times 10^{-6}$
a. f の二点	$+17.0 \times 10^{-6}$	$+1.5 \times 10^{-6}$
a. b. e. f の四点	$+24.0 \times 10^{-6}$	$+1.5 \times 10^{-6}$

之より分る如く真鍮台に比較して、アルミニウム台の場合は著しく周波数変化が大きい。之が周波数変化は主として、附加質量のため、支持台が撓むためと考えられる。従つて支持台としては充分厚さの厚く重いものを用いるべきである。(よつて現在吾々は通常の1000 $\sim$ 音片に対しては厚さ4 $\sim$ 5 mm, 重さ400 $\sim$ 600g程度の真鍮板を用いている。)一方鋼針支持の場合の一例では、重さ600gの真鍮板支持台の中央部に、重さ750gの質量を附加した時 $-100 \times 10^{-6}$ もの周波数変化を示した。即ち鋼針支持の場合は支持台が、音片振動と共に可成り振動している事が分る。

#### 6. 保持位置による周波数変化

音片の保持位置により可成りの周波数変化がある。保持位置による発振周波数の変化

を、スプリング支持と鋼針支持とに就いて比較した一例を第5表に示す。尚保持位置に就いての説明図を第26図に示した。本表より分る如くス



第26図 音片の保持位置の説明図

第5表

保持位置	周波数変化量 $\Delta f/f$	
	スプリング支持 (磁極空隙 2mm)	鋼針支持 (磁極空隙 1.5mm)
水平	0	0
横	$+9.0 \times 10^{-6}$	$+2.3 \times 10^{-6}$
転倒	$+14.0 \times 10^{-6}$	$+4.6 \times 10^{-6}$
縦	$+11.0 \times 10^{-6}$	$+2.3 \times 10^{-6}$

プリング支持の場合は保持位置による周波数変化が大きい。之はスプリングのステフネスが小さいためやむを得ないが、音片使用の際保持位置の変化のないように充分注意しなければならない。水平位置より傾けた角を  $\theta$  とすれば、その位置に於ける周波数変化は略々  $\Delta f = \Delta f_{\max} \cdot (1 - \cos \theta) / 2$  (但し  $\Delta f_{\max}$  は転倒位置に於ける周波数変化量) で與えられる事が分つたので、保持位置の変動に対し最も周波数変化を少なくする為には、音片は水平に保持するのがよいと考えられる。

## Ⅶ. 結 言

スプリング支持音片に関して若干の考察を加えると共に主としてその共振尖鋭度、周波数温度係数その他の特性に就いての実験結果を示した。以上の結果より次の如き結論が得られた。

- (1) スプリング支持の最も重要な利点は、支持損失少く共振尖鋭度が極めて高くなる事で、音片発振器の周波数安定度を著しく向上せしめる事が出来る。
- (2) 更に重要な事はスプリング支持によれば、接着型音片の周波数温度係数の調節が容易で、広い温度範囲に亘り  $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  合のものは容易に  $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$  の劃期的微少温度係数も得られ、従来に比し約二桁微少化出来る。
- (3) スプリング支持によれば支持台、支持装置等による音片の共振周波数及び周波数温度係数の変化が殆んど生じない。然しながらスプリングは充分強く張つて、支持を確実にすると共に支持台も充分厚く且つ重いものを用い、取付けによる影響を可及的に小ならしめるのがよい。
- (4) 微少周波数温度係数材料の研究等には、支持の影響の少ないスプリング支持を用いるべきである。
- (5) スプリング支持によれば、厚味の薄い音片の支持が可能で、音片の小型化が実現出来る。
- (6) スプリング支持は支持装置の取付け取外しが容易で、又堅牢且つ工作が簡単である。

(7) スプリング支持は保持位置による周波数変化が比較的大きいので、此の点に充分注意して取扱わねばならない。

(8) スプリング支持音片は外部振動に敏感であるから、充分防振対策を講ずる必要がある。

現在吾々はこのスプリング支持音片発振器を用いる事により、極めて高精度の標準周波数を得ている。

最後に本研究に対し御指導を戴いた東北大学永井教授に深謝の意を表すると共に又本研究に対し御援助を戴いた本学部の方々、実験その他に従事された清水正博君に厚く感謝する。

なお本研究は文部省科学研究費の補助を受けて行つたものである。

## 文 献

- (1) 永井・木村：電通誌，27（昭18—2）
- (2) 永井・木村：日本音響学会誌，第6輯（昭18—6）
- (3) 例えば Den Hartog: Mechanical Vibration.
- (4) 永井・木村：電気三学会第23回聯合大会（昭18—10）
- (5) 永井・木村：日本學術振興会第1小委員会第10分科会記録（昭21—3）
- (6) H. A. Brown : I. R. E. 29, April (1941)
- (7) E. Norrman : Electronics, Jan. (1940)
- (8) 永井・木村：日本學術振興会第99小委員会記録（昭21—11）
- (9) W. P. Mason : I. R. E. 28, May (1940)

## On Tuning Bars Supported by Springs

By

Mizuo KIMURA\*

Oscillators which have the highest frequency stability are those which controlled by mechanical vibrators. Tuning bar oscillators, as one of those mechanical vibrator oscillators, are used for low and medium frequency generators because of those high frequency stability. Most important factors which mechanical vibrators must prepare are high Q and small temperature coefficient of frequency.

Recently writer found that, about the supporting of tuning bars, by employing spring supporting, which is a new method of supporting, instead

\* Assistant Professor of Electrical Communication Engineering, Department of Electrical Communication Engineering, Shinshu University.

of pin supporting,  $Q$  of tuning bars can be made extremely high, and temperature coefficient of frequency can be made negligible small, and another characters as vibrators are improved. For that reason, frequency stability of tuning bar oscillators can be made remarkably high.

In this paper, some consideration on supporting of tuning bars are described, and mainly about  $Q$ , temperature coefficient of frequency, and another characters of tuning bars supported by springs are explained in detail.