


## 水平すだれ式波動実験器

Shive's Wave Machine




WM-70Na

ご使用に際しての安全上の注意事項


- この取扱説明書をよく読んで正しくご使用ください。
- いつでも取扱説明書が使用できるように大切に保管してください。
- 当社では誤った使い方をしたときに生じる危険や損害の程度を、次のように規定しています。




|  |   |
|--|---|
|  注意 | 誤った取り扱いをすると、人が障害を負ったり、物的損害の発生が想定される内容を示します。 |
| 注 記  | 装置を正しく使用していただくためのヒント的情報を示しています。             |

絵表示の意味

|   |  |
|---|--|
|   | この絵表示は、「警告」「注意」を促す事項を示しています。<br>この絵表示の近くに、具体的な警告・注意内容を表記しています。 |
|  | この絵表示は、禁止事項を示しています。<br>この絵表示の近くに、具体的な禁止内容を表記しています。             |
|  | この絵表示は、必ず実行して欲しい事項を示しています。<br>この絵表示の近くに、具体的な指示内容を表記しています。      |

## 安全上のご注意

|   |            |
|---|------------|
|  | <b>注 意</b> |
|---|------------|

|   |   |
|---|---|
|  | 「クロスアーム」は構造上脆弱なため強い衝撃を与えないでください。変形したり、破損の原因となります。また多くの場合破損の修理は困難です。 |
|  | 「クロスアーム」は架台に載せるときと、外すときは付属の「クロスアーム保持用木枠」にて固定してから持ってください。            |
|  | 造波装置に電源装置を接続するとき、電圧がゼロになっていることを確認してください。急に回転すると「クロスアーム」を傷めることがあります。 |

## もくじ

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1. はじめに.....         | 3  |
| 2. 製品の構成.....        | 3  |
| 3. 組み立ての注意.....      | 4  |
| 4. 構造.....           | 4  |
| 5. 関連機器.....         | 5  |
| 6. 実験種目と使用法.....     | 5  |
| 6.1 波の形と伝わりの観察.....  | 5  |
| 6.2 波のダンピング.....     | 7  |
| 6.3 波の反射.....        | 8  |
| 6.4 波の重ね合わせ.....     | 10 |
| 6.5 定常波.....         | 12 |
| 6.6 共振の実験（連成振子）..... | 13 |
| 6.7 波の速さ.....        | 13 |
| 6.8 インピーダンスの実験.....  | 14 |
| 7. 保守部品.....         | 16 |
| 8. 保証・アフターサービス.....  | 16 |
| 8.1 保証書（別添）.....     | 16 |
| 8.2 修理を依頼されるとき.....  | 16 |

## 1. はじめに

この度は、『水平すだれ式波動実験器 WM-70Na (ウェーブマシン) 』をお買い上げいただきまことにありがとうございます。

この装置はアメリカのベル研究所の半導体研究者 Dr. John N. Shive が考案し、元京都府立鴨沂高校、伊藤信隆先生のご指導により完成した波動実験器です。

波は物質の移動を伴わないエネルギーの伝わりで、日常よく観察でき、水やひも、コイルばねなどを用いて実験することができますが、普通これらは波をコントロールしたりゆっくりとした動きで観察することは困難です。

『水平すだれ式波動実験器』は波をコントロールすることができ、側面からゆっくりしたふるまいを観察できますから、波の観察に最も適したデモンストレーション装置といえます。

## 2. 製品の構成

- |   |              |       |    |
|---|--------------|-------|----|
| ① | 架台           | ..... | 1  |
| ② | クロスアーム (振動部) | ..... | 1  |
| ③ | 振り子 (軸および重り) | ..... | 2  |
| ④ | 造波装置         | ..... | 1  |
| ⑤ | クロスアーム保持用木枠  | ..... | 1組 |
| ⑥ | 制動板          | ..... | 1  |
| ⑦ | バランスウエイト     | ..... | 1  |
| ⑧ | 造波装置用アーム     | ..... | 1  |

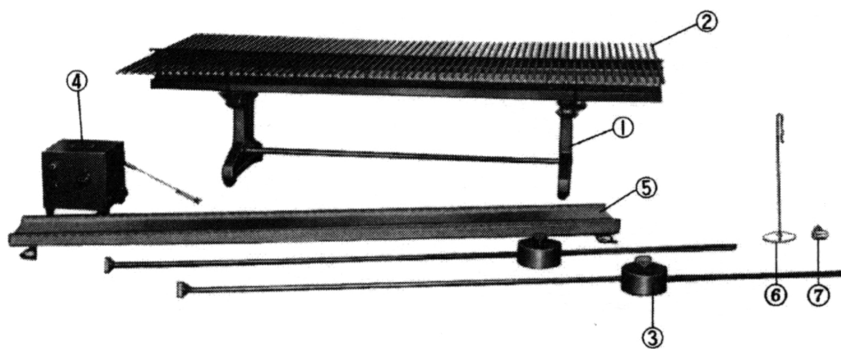


図1 製品の構成

### 3. 組み立ての注意

梱包箱から取り出したあと、次の順序で組み立ててください。

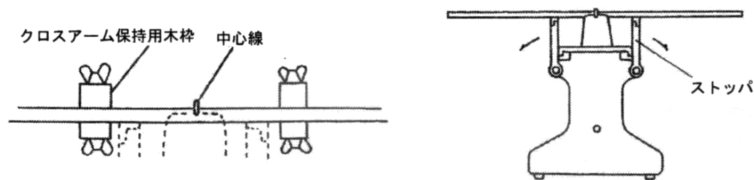


図2 組み立て方

- まず、架台のストップ（図2、3参照）を上にはね上げておきます。
- 次にクロスアーム保持用木枠で固定されたクロスアームを上下面に注意して、架台に載せます。クロスアームは「中心線」が出ている側が上面です。上下面を逆にすると大きく傾き、安定しません。
- クロスアームを架台支え板の正しい位置に載せます。蝶ねじをゆるめ、クロスアーム保持用木枠を静かに取り外します。
- ストップを両手で静かに開いて下ろすと実験できます。（図3参照）
- クロスアーム保持用木枠は捨てないでください。装置をしまうときには元通りにクロスアームを挟んで固定しておくことで保護になります。

### 4. 構造

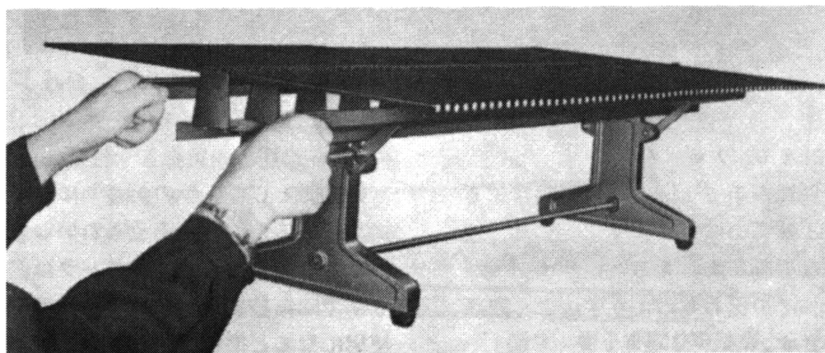


図3 装置外観



波動実験器は図3のように、「中心線」に直角に金属棒を等間隔に多数置き、金属棒の中央でバランスさせて固定した「クロスアーム」が主要要素となっています。そして中心線を架台上の支え板に載せて水平につりあわせたものです。ちょうどすだれを水平にしたような形で、このすだれの隅になる金属棒の端を上下に振動させると波でき、それがゆっくりと波動実験器の長さ方向に伝わっていきます。このうごきは「中心線」のねじれ伝達を金属棒で拡大して試していることになります。

クロスアームの詳細を示します。

|        |                |        |                |
|--------|----------------|--------|----------------|
| 中心線の長さ | 93cm           | 金属棒の間隔 | 1.3cm          |
| 中心線の材質 | ばね鋼製           | 金属棒の数  | 70本            |
| 金属棒の寸法 | 長さ46cm×直径0.5cm | 波の速さ   | 1往復およそ3.8～4.0秒 |

## 5. 関連機器

- 1) 直流安定化電源または電源装置 DC12V1A以上で電圧調整可能なもの  
(弊社製品例：直流安定化電源装置 RDS シリーズ, 小形電源装置 NES シリーズ)
- 2) リード線 2本
- 3) マイナスドライバ
- 4) ビーカ 10

## 6. 実験種目と使用法

まずストップパを静かに開いて下げます。(図3参照)

### 6.1 波の形と伝わりの観察

#### 1) パルス波(図4参照)

手の動きによってパルス波を作ります。まずクロスアームの金属棒の端を手で持ち、手早く数cm持ち上げ、すぐ元の水平位置に戻すという操作をしたと

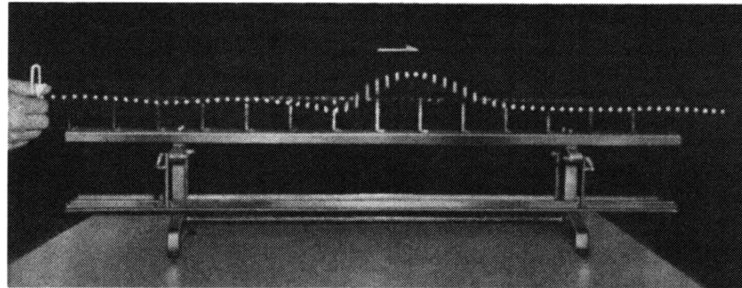


図4 手動で作る山型パルス波

き、山型のパルス波ができます。この波がゆっくりと移動するのが観察できます。

また、逆に手で金属棒端を下げて、元の水平位置に戻すときは、谷形のパルス波が作れます。(図5)

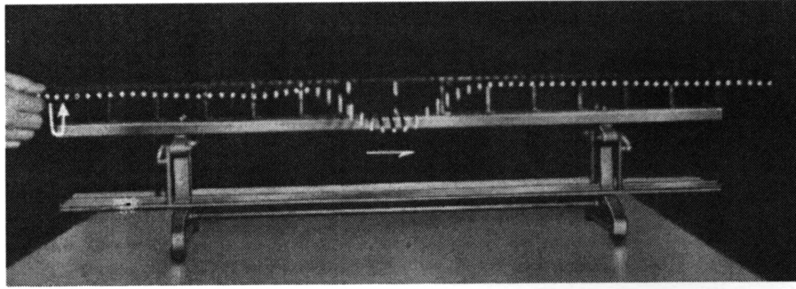


図5 手動で作る谷型パルス波

## 2) 連続の波

今度は金属棒の端を水平位置から、手で一回だけ上から下へ均等に振動させて元の水平位置に戻すと、1波長に相当する波ができます。また手で連続的に振動を与えるとサイン波ができ、その伝わりがよく観察できます。

## 3) 連続の波 (造波装置)

次に振動源として、手の代わりに造波装置を用いてみます。安定した波を作ることができます。

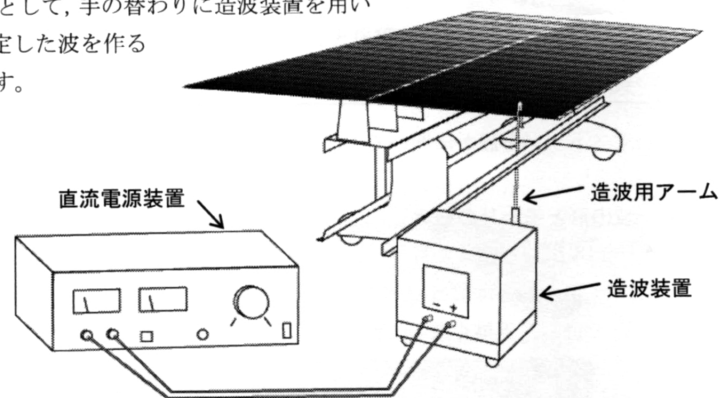


図6 造波装置の取付け方

- 造波装置は直流を電源とし、入力電圧を変化させると振動の速さを調節できます。直流電源装置については5ページの「関連機器」を参照ください。
- 電源装置と造波装置、それとクロスアームとの接続組み立ては図6を参照ください。

- 造波装置の回転部に造波装置用アームをねじで留めます。ドライバーで緩まないようにしてください。
- また造波装置用アームと、すだれの金属棒との固定点を変えると、波の振幅が変わります。(図7参照)

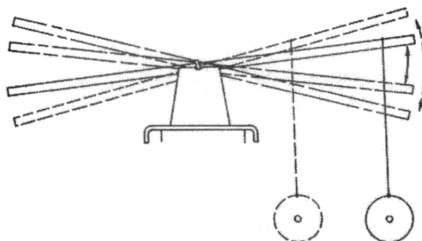


図7 振幅の調節

#### 4) 長い波長の波

クロスアームの「中心線」の端に付属の振り子を取り付け、それを振らすと長い波長のサイン波ができます。波の振動源と波の関係がよく観察されます。(図8、及び13ページ6.6参照)

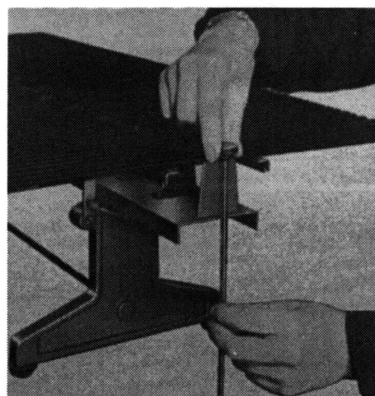


図8 振り子の取付け方

### 6.2 波のダンピング

単一のパルス波を作って観察すると、波がクロスアームの1端に達して反射して元に戻るといった動作を繰り返します。このとき時間が経過するにつれて、波の振幅がだんだん減衰していく様子がよく観察できます。

これは波の持つ運動エネルギーが空気の攪拌や支点での摩擦で熱として失われていくためです。

## 6.3 波の反射

## 1) 自由端での反射

単一の山型パルス波が、クロスアームの一方の自由端で反射するときは図9の連続写真のように相似の山型の波として反射します。

撮影条件：

暗室内で絞り；開放 (F: 1.8)，1/50 秒連続撮影。

側方よりすだれの金属棒端面のみ照明。

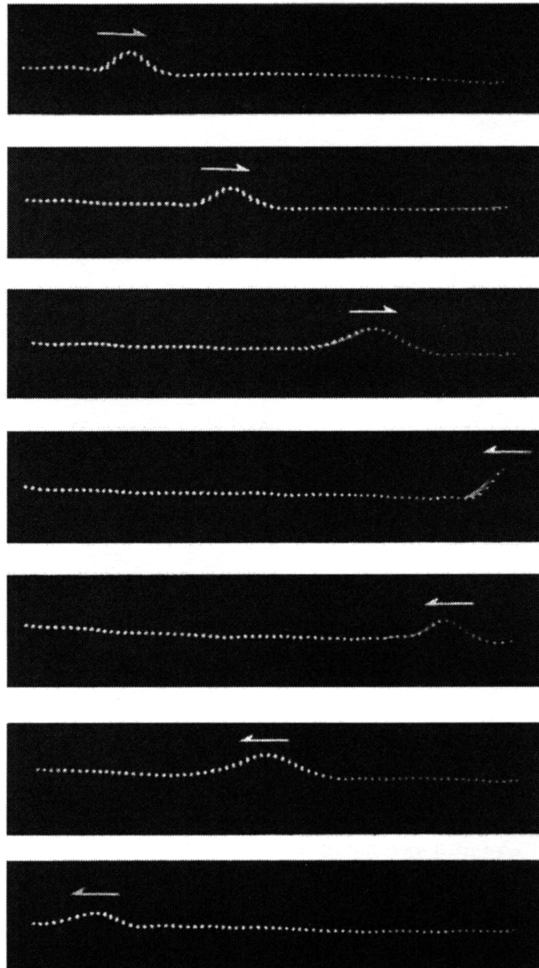


図9 自由端での反射

## 2) 固定端での反射

単一の山型パルス波が、クロスアームの一方の固定端（端の金属棒を動かさないよう手などで支える）で反射するときは、図10の連続写真のように、上下に対称の谷型の波として反射します。

固定端は造波装置を取り付けると簡単にできます。

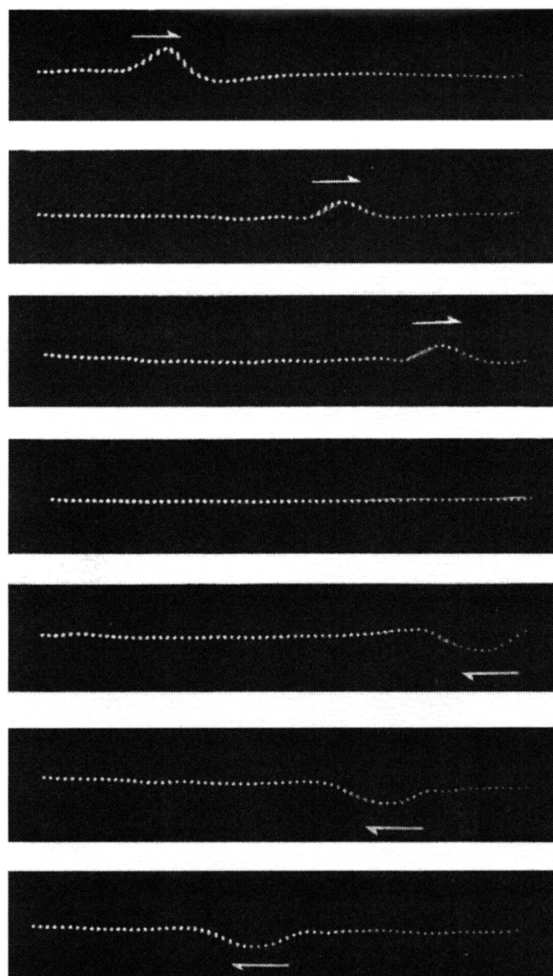


図10 固定端での反射

## 6.4 波の重ね合わせ

## 1) 山波と谷波の重ね合わせ

クロスアームの両端で同時に単一の山波と谷波を起すと、それらの波はたがいに近づいて、重なり合った後、山波と谷波がたがいに離れて進んでいきます。

このように速度の異なる一つ一つの波が重なるとき、クロスアームに生ずる変位は両者を加え合わせたものになります。

図 11 は山波と谷波の重ね合わせの連続写真です。

図 12 は同じ実験で波が端から端まで行く間シャッターを開いたときの写真です。中央の山波と谷波が交差する点が振動しない「節」になっていることがわかります。

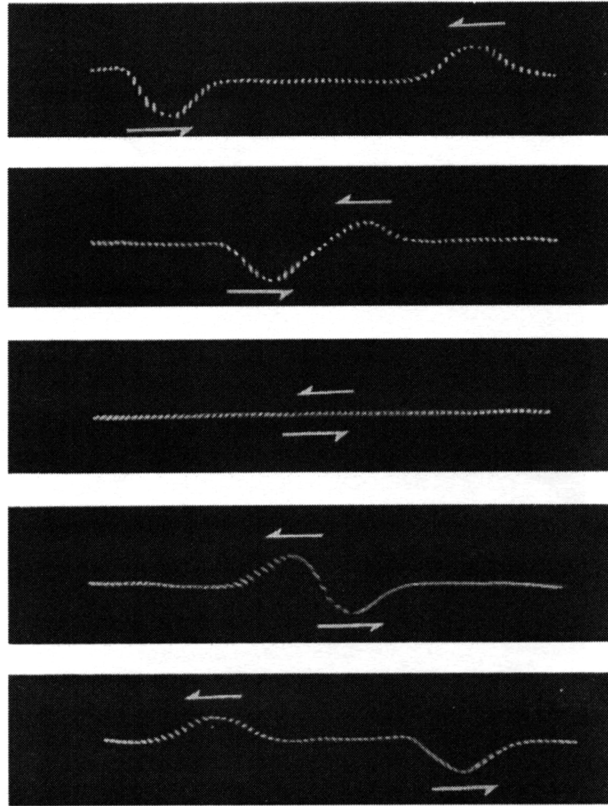


図 11 山波と谷波の重ね合わせ 1

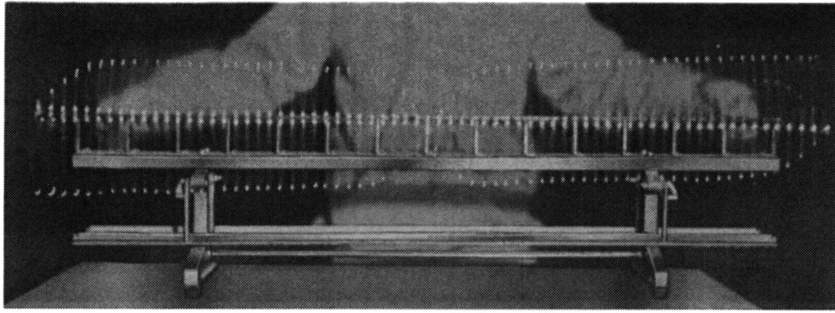


図 12 山波と谷波の重ね合わせ 2

## 2) 山波と山波の重ね合わせ

クロスアームの両端で同時に単一の山波と山波を起すと、それらの波は重なり合った後、離れて進んでいきます。クロスアームの中央で重なり合ったとき、振幅が2倍になるようすがわかります。(図 13, 図 14 参照)

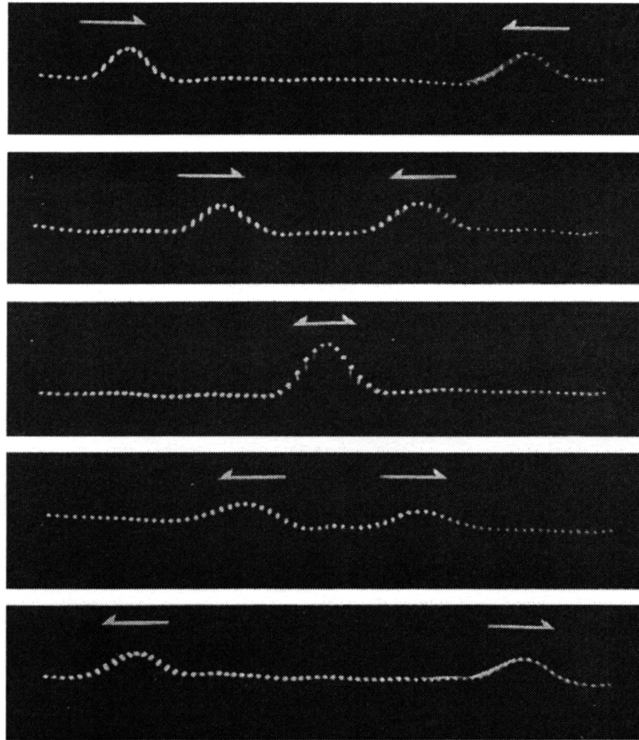


図 13 山波と山波の重ね合わせ 1

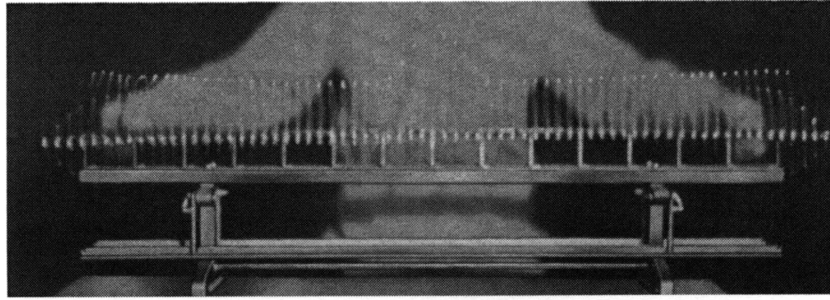


図 14 山波と山波の重ね合わせ 2

### 6.5 定常波

クロスアームの端を手動、または造波装置で連続的な振動を与えるとき、作られた正弦波はクロスアームのもう一方の端で反射し、これが振動源からくる波と重なると干渉して美しい定常波を作ります。

振動源の振動数  $f$ 、クロスアームの長さ  $L$ 、すだれを伝わる波の速さ  $V$  とすると、次の式が成り立つとき定常波ができます。

$$f = \frac{V}{2L}n \quad (n \text{ は整数})$$

定常波をうまく作るためには、造波装置の振動数（回転速度）を変えて、波を共振させるよう調整しなければなりません。また手で定常波を作るときも、上下の動きの早さを調整する必要があります。

また振り子一つだけ使って、長い波長の定常波を作ることもできます。

図 15 は定常波の一例写真です。

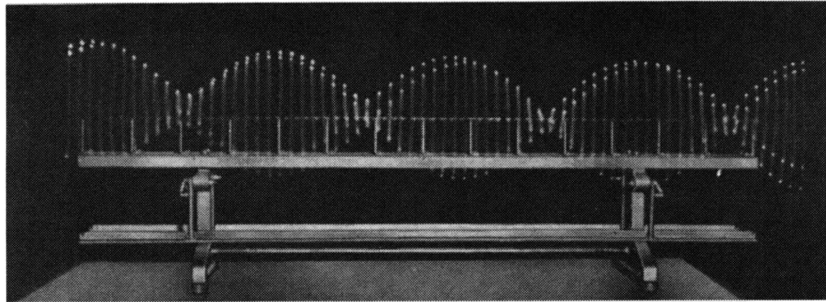


図 15 定常波の例



### 6.6 共振の実験（連成振子）

クロスアームの両端に、同じ周期の振り子を下げ、その一方の振り子を振らせると、「中心線」どうして接続されたもう一方の振り子が共振して振動を始めます。これは連成振子といい、たがいの振り子のエネルギーがゆっくり行き来する、興味深い現象が観察できます。

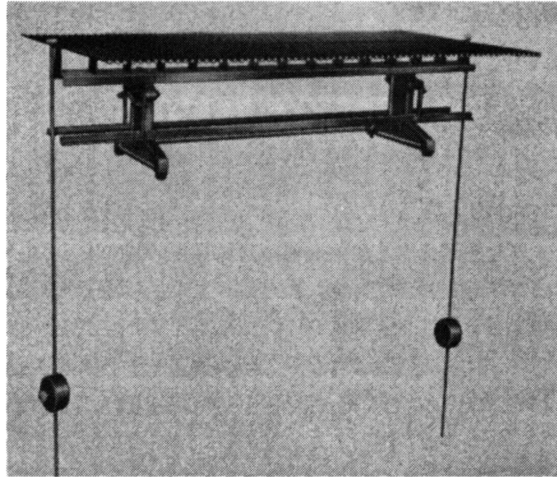


図 16 連成振子

### 6.7 波の速さ

#### 1) ストップウォッチによる実測

クロスアームの一端でパルス波をつくり、そのパルスが他端で反射して、ふたたび元に戻るまでの時間  $t$  をストップウォッチで計ります。クロスアームの長さを  $L$  とすると、波の速さ  $V$  は

$$V = \frac{2L}{t}$$

この値と次に求める計算値と比べると近い値になることがわかります。

#### 2) 理論計算による求め方

クロスアームを伝わる波の速さ  $V$  は次式で求められます。

$$V = \sqrt{\frac{T}{I}}$$

$T$  : 「中心線」の長さ 1cm を 1 ラジアンねじるために必要な力のモーメント。

$T$  の測定は次の方法により求められます。

クロスアームの端から10番目くらいの金属棒を鉄製スタンドのクランプで固定し、最初の金属棒(1番目)に小さいおもりをつるします。1番目の金属棒が水平から $\theta$ ラジアンだけ傾いたとすると、 $T$ は以下の式で求められます。

$$T = 980 \times \frac{mdl \cos \theta}{\theta}$$

$m$ : おもりの質量 (g)

$d$ : おもりを吊るした点と  
「中心線」との距離 (cm)

$l$ : おもりを吊るした金属棒と  
固定した金属棒との距離 (cm)

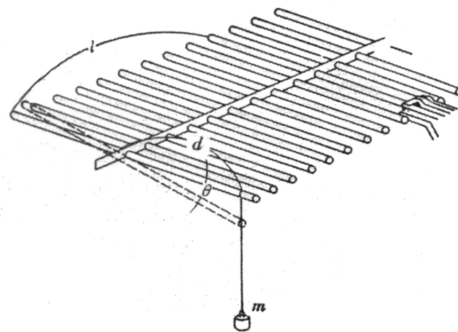


図17 ねじり剛性率の測定

$I$ : クロスアームの長さ1cmあたりの慣性モーメント。

$I$ は以下の式で求められます。

$$I = \frac{1}{12} \times \frac{ML^2}{D}$$

$M$ : 金属棒の質量 (g)

$L$ : 金属棒の長さ (cm)

$D$ : 隣接する金属棒間の距離 (cm)

#### 6.8 インピーダンスの実験

クロスアームの金属棒を重く、かつ長くして、「中心線」を堅くねじれにくくすれば、このクロスアームは、波を起しにくくなります。反対に金属棒を軽くし、「中心線」にねじれやすいものを用いると、このクロスアームは波を作りやすくします。このような波の媒質(伝えるもの)の性質をインピーダンスといいます。

波の起こりにくいクロスアームは、大きいインピーダンスをもち、反対に波の起こりやすいものはインピーダンスが小さいといえます。

図18のように、クロスアームの一端の金属棒に付属の制動板を取り付けます。水を入れた1~20ピーカーに円盤を沈めてダンパ(振動緩衝器)を作ります。バランスウエイトは金属棒の反対側にねじ止めし、制動板とつりあわせ、重みで傾斜するのを防ぎます。

クロスアームのダンパの付けていない端で正弦波を作りますと、ダンパのところでは反射するとき、振動エネルギーを吸収されて反射波の振幅は小さくなります。

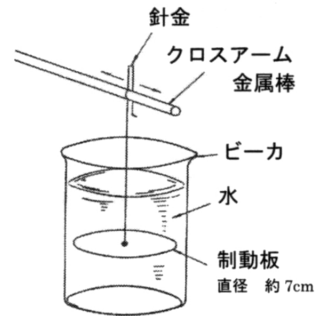


図 18 ダンパの構成

ダンパの位置を金属棒の軸方向にいろいろかえて、波の反射を調べてみますと、波のエネルギーがほとんど吸収されて、反射波がなくなる場合があります。このときダンパは、クロスアームのインピーダンスにマッチ（整合）しているといえます。

電流回路や送電線において、インピーダンスマッチは重要な意味を持っており、この実験は現象を理解するのにたいへん役に立ちます。

図 19 は造波装置で連続波を作り、ダンパを働かせている図です。上側はインピーダンスがマッチしていないため、定常波のようになっています。下は十分にインピーダンスが合っているので連続して波が左から右に進んでいます。

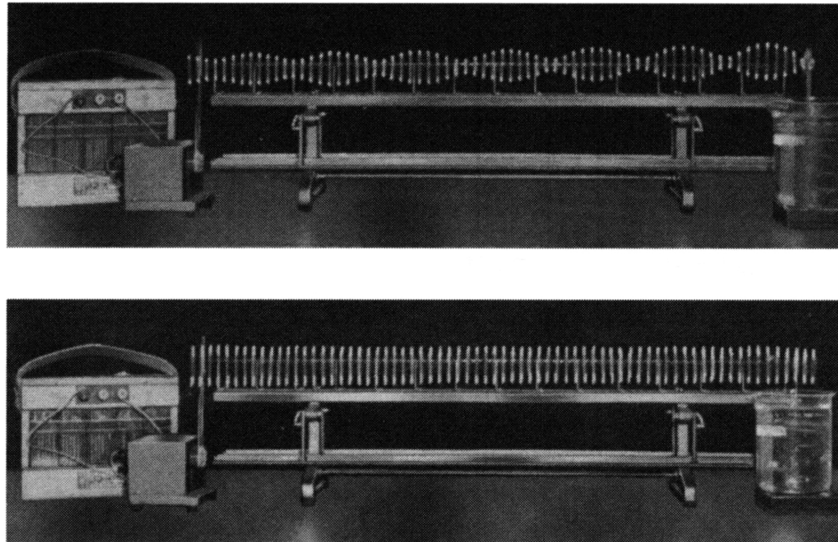


図 19 インピーダンスの実験

## 7. 保守部品

交換部品

| 部品名称         | 部品仕様           | Cat.No. |
|--------------|----------------|---------|
| 造波装置用アーム     |                | 191010  |
| クロスアーム (振動部) | 長さ 93cm×幅 46cm | 191011  |

## 8. 保証・アフターサービス

### 8.1 保証書 (別添)

- 保証書は、お買上げの販売店または弊社支店・営業所からお渡しします。「製品名、形式、機体 No. (記載のあるもののみ)、お買上げ日」の記載をお確かめのうえ、大切に保管してください。
- 保証期間は、お買上げ日より 1 年間です。保証書の記載規定により、無償で修理いたします。但し、下記の部品は保証の対象外となりますのであらかじめご了承ください。
  - ・クロスアーム
- 保証期間経過後の修理については、お買上げの販売店または弊社支店・営業所にご相談ください。修理によって機能が維持できる場合は、お客様のご要望により有償で修理いたします。

### 8.2 修理を依頼されるとき

- 万一、異常が発生しましたら、ただちに使用を中止して、お買上げの販売店または弊社支店・営業所まで保証書をご提示のうえ連絡ください。
  - ご連絡いただきたい内容
    - 製品名
    - 製品の形式
    - 機体 No. (記載のあるもののみ)
    - お買上げ日
    - 故障の内容 (できるだけ詳細に)
- } 保証書または本器に貼付されている  
銘板などをご参照ください。

© Copyright 2009 株式会社島津理化

### 株式会社 島津理化

〒136-0071 東京都江東区亀戸6丁目1番8号  
TEL: (03) 5626-6600 URL: <http://www.shimadzu-rika.co.jp>

本製品の技術のお問合せは、コールセンターまで  
フリーダイヤル 0120-376-673 (携帯電話、PHSではご利用になれません)  
受付時間 平日 9:00~12:00, 13:00~17:00  
e-mail: [soudan@shimadzu-rika.co.jp](mailto:soudan@shimadzu-rika.co.jp) FAX: (075) 823-2804

M123351D0909TY101