

電動歯ブラシを活用した安価な可変振動数の振動装置開発 —身近な素材を用いた振動についての理解を深める試み—

呉屋 博

要旨

本研究の目的は、弦の固有振動を確かめるための生徒実験が可能な、安価で振動数可変の振動装置を開発することにある。市販の電動歯ブラシを用いて可変振動数の振動源を試作し、基本振動から3倍振動まで確認できたことの報告と、その教材化によって期待される教育効果についての考察をする。

1 はじめに

現行の高等学校物理 I における単元「波動」の「音源の振動」において、「弦の振動」の導入は固定長の弦の固有振動数から始まる単元構成になっている。弦の振動をその現象の基本的な理解から促すために、多くの教科書¹⁾で採用されている単元構成である。固定長の弦が倍振動で固有振動をすることを確認するためには振動数可変の振動源が必要であるが、振動源装置が高価であるために演示実験で取り組んでいるのが実態であり、生徒自らが実験で確かめることは難しい状況にある。本研究は、弦の固有振動を確かめるための生徒実験が可能な安価で振動数可変の振動装置を開発することにある。生徒自らが実験を通して弦の固有振動に関する基本事項の理解を深め、同時に身の回りの素材を利用した振動源のしくみを理解することにより、振動現象全般について興味、関心を持てるようにすることを目指した。

(2) 開発した振動源の構造としくみ

この振動源が実用化のためのアイデアのポイントは、ランダムに振動する電動歯ブラシの振動から一方方向の正弦波に近い振動を取り出す工夫にある。電動歯ブラシの振動を直接弦に伝えると、弦は多様な方向に複雑な振動をする。電動歯ブラシの複雑な振動の中から特定の方向の振動のみを取り出すことにより、振動源として制御可能な装置となる。特定の方向の振動を取り出すために、電動歯ブラシの振動を金属板に伝え、金属板に板面に直交する方向の振動をさせるように工夫した。用いた金属板は金鋸の刃である(図2, 3)。

2 安価で振動数可変の振動装置の開発

(1) 振動源の素材(図1)

振動源：市販の電動歯ブラシ

電源：生徒実験用電源装置(電圧、電流可変)

振動板：金鋸の刃

その他の素材：針金、力学スタンド、ネオジム磁石、電磁石、デジタルマルチメーター

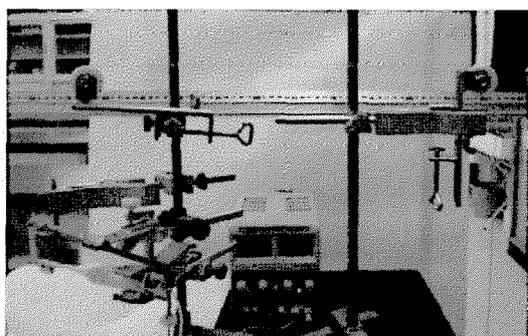


図1 装置全体写真

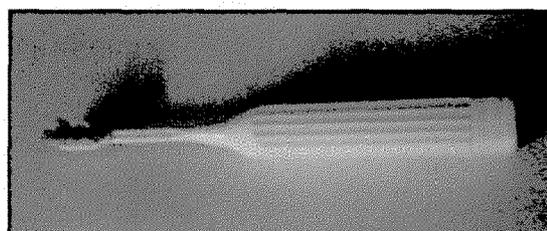


図2 市販の電動歯ブラシ

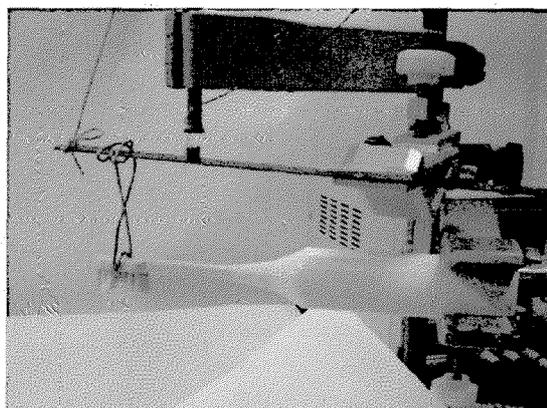


図3 振動源の中心部分

電動歯ブラシと金鋸の刃を力学スタンドのクランプで固定し、電動歯ブラシと金鋸の刃の間は、針金で連結した。針金で連結することにより、電動歯ブラシの複雑な振動の中から、金鋸の板面に直交する方向の振動が無理なく伝わるように工夫した。このことは、同時に電動歯ブラシ内の偏心モーターの回転をなるべく負荷をかけずに行わせることができるという利点がある。そのため、偏心モーターが焼き切れないための保護となっている。

振動板（金鋸の刃）の振動数は、電磁石をピックアップとして測定する。市販されているネオジム磁石を金鋸の刃に付着させ、電磁石で振動を検知し、電磁石に生じる電気振動を周波数カウンター機能を持つデジタルマルチメーターで測定する。得られた振動には多少の歪みがあったが、十分に実用的であった。（図4、5）

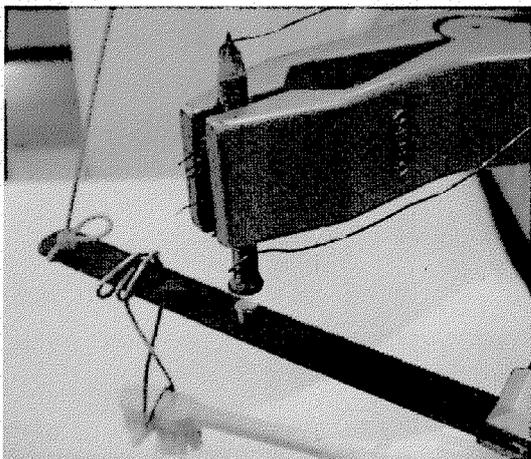


図4 振動のピックアップ部分

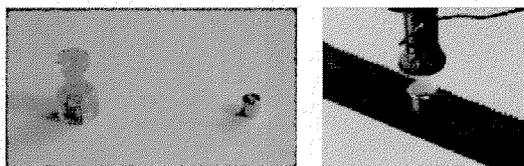


図5 振動ピックアップのためのネオジム磁石
(ネオジム磁石の部分を取り出して利用)

電動歯ブラシの電源には生徒実験用の電源装置を用いた。電源装置と電動歯ブラシの間に10Ωの電気抵抗を直列に接続して、モーターを保護し、またモーター駆動のための電流制御の微調整ができるようにした（図6）。

電源の制御範囲は0ミリアンペアから数百ミリ程度であった（0～10ボルト）。

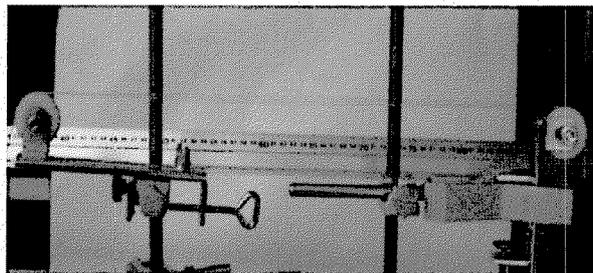


図6 電池ボックスの端子に電源装置を接続

(3) 製作した振動源の性能

振動数：0～150 Hz

電 源：0～10V(0～1A)

(4) 実験結果の例

実験結果の例を以下に示す。

弦： $\rho = 5.08 \times 10^{-4}$ kg/m（工事用蛍光水糸）

弦の固定長：0.51 m

弦の張力： $S = 0.201$ N

($V = 19.9$ m/s)

弦の共振：19.5 Hz, 39.0 Hz, 58.5 Hz

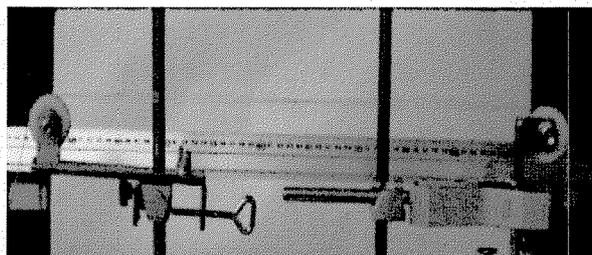


図7 基本振動（弦の振動数 $f = 19.5$ Hz）

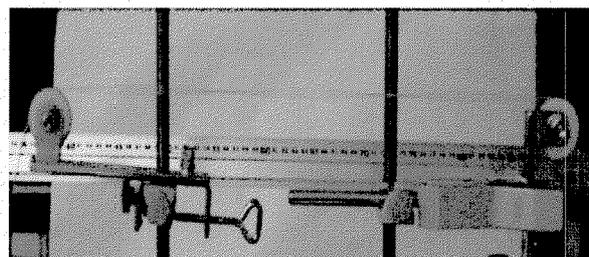


図8 2倍振動（弦の振動数 $f = 39.0$ Hz）

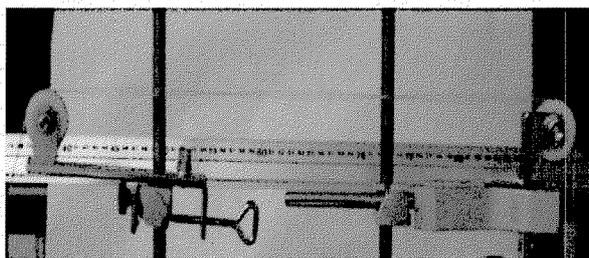


図9 3倍振動（弦の振動数 $f = 58.5$ Hz）

(5) 振動装置の性能に関する評価

この実験では、振動源が試作段階であり、装置の安定のために、弦の方向に振動をさせたので、振動装置の振動数は、弦の共振の振動数の2倍である。

この振動装置の振動数設定は、基本的には電動歯ブラシ内部の負荷と電源負荷の釣り合いで決定される。従って、電源の電流を微調整しながら、弦の共振が安定する状態を慎重に探さなければならない。

また、今回は力学スタンドを利用して設置したものであり、今後授業での活用を想定して、専用の装置として組み立てる必要がある。その際、生徒の波動に関する興味、関心を高めるために、なるべく原形をとどめて振動装置としてのしくみがよく分かるようにすることが大切であると考えられる。

この装置では、低い振動数の領域については、電動歯ブラシの振動が小さくなるために、今回の実験で示したように、振動を弦の方法に伝達するように接続することで対応できることが確認できた。

[振動装置の利用方法]

・0~70 Hz

振動板（金鋸の刃の先端部分）の振動を、滑車を通して、弦の方向に伝達して利用する。

・50~150 Hz

振動板（金鋸の刃の先端部分）を直接弦に接続し、振動板（金鋸の刃の先端部分）の振動が、弦に直行する方向に伝達するようにして利用する。

この装置の課題は、振動板の振幅を制御することが難しく、振動数が低い領域では振幅が小さくなることである。振幅が安定していないために、弦の振幅をテーマにした教材には不向きである。

3 この簡易振動装置を用いた授業の展開例

(1) 授業のねらい

「弦の振動」の導入実験として実施し、固定長の弦の共振条件を実験事実として確認させることにより、弦の固有振動に関する理解を促す。

(2) 授業の展開

①導入

ギターなどの弦楽器が、固有の音を出すことについて、実験によって確かめ、弦が複数の振動数で共振するという結果から弦の振動がどのような条件で決まるかについて考察することを促す。

②展開

・装置の説明

(注意)

導入実験として、本装置を利用する場合は、振動板の振動を直接に弦に直交する方向に伝達するようにして利用できるように弦の線密度や張力、弦の固定長の長さを設定する必要がある。振動装置の振動を弦の方向に伝達して利用する場合については、応用、発展として扱うことが望ましい。

- ・弦の固定長の長さを測定させる。
- ・振動装置の振動数を大きくしながら、弦が基本振動をするように調整させ、基本振動の振動数（デジタルマルチメーターで振動装置の振動数を読み取らせる）と定常波の波長を読み取らせ、記録させる。
- ・さらに、振動数を大きくしながら、2倍振動、3倍振動をするように調整させ、2倍振動、3倍振動の定常波のときの振動数と定常波の波長を読み取らせ、記録させる。

③考察

- ・実験結果から、各定常波ができたときの腹の数 m と波長 λ の関係に気付かせる。

$$\lambda_m = \frac{2\ell}{m}$$

($m=1, 2, 3, \dots$)

- ・実験結果から、各定常波ができたときに波が弦を伝わる速さを求めさせ、張力が一定のときは定常波の腹の数によらず弦を伝わる横波の速さが一定であることに気付かせる。
- ・弦に生じる定常波の振動数を、弦を伝わる横波の速さ v を用いて表せることに気付かせる。

$$f_m = \frac{v}{\lambda_m} = m \frac{v}{2\ell}$$

($m=1, 2, 3, \dots$)

④まとめ

- ・弦をはじくと基本振動の他にも倍振動が生じ、それらの重なり方によって、また、楽器などの場合は弾き方によって特有の音色が出る。
- ・ふつうは基本振動が最もよく聞こえ、音の高さを決める。
- ・弦の端あたりをはじくと、倍音が強く出ることがある。

4 本振動装置を用いた教育効果の考察

弦の定常波の振動数の式が自ら行った実験の結果として得られるので、弦の固有振動について実験事実の基づいて把握でき、より深い理解を促すことが可能になるものと考えられる。

この装置は、固定長を変えて、定常波の節にあたるところが弦の両端になるごとに定常波を確認できるので、定常波について再確認させ、理解を促すことにも応用できる。

また、弦の張力を変えてできる定常波の振動数を測定することにより、弦楽器などの調弦の際に張力によって音の高さが変わることの理解を促すことができる。

さらに、弦の線密度を変えてできる定常波の振動数を測定して、弦の張力と定常波の振動数との関係と合わせて、弦を伝わる横波の速さについての理解を促すことにも利用できる。

これまで、弦の振動の導入の実験が、教師による演示実験として行われることが多かったことと、本装置のような簡易振動装置を用いて生徒実験によって生徒自らが弦の振動の基本について、自らの実験事実によって把握できるようになる場合を比較すると、後者の場合が生徒の理解をより深めることができるものと考えられる。

「弦の振動」に続く「気柱の振動」は振動状態を眼で確かめることが難しく、その前段での「弦の振動」において、弦の振動に関する現象を自ら確かめながら理解を深めることで、気柱やその他の媒質の振動現象についての具体的なイメージ描いて理解することが十分にできるようになるものと考えられる。

参考資料

1) 「高等学校物理 I 改訂版」(61啓林館物 I 013) p.221