

1. 申請内容の背景とねらい

生徒が心から喜び、わくわくするような最大の実験は何といっても水ロケットである。物理の授業において、これに代わるものは他にない。水ロケットは実験をするたびに、少しずつではあるが改良し続けられている。それは1986年の一本のペットボトルとゴム栓だけのものからはじまり、それ以後フィン付き、パラシュート付き、二連、三連結合式、切り離し型、さらには水ロケットの空中爆発（2009年*1）と興味は尽きない。

しかし、その面白さを超えるものが他に有るのではないだろうか。そう考えながら毎年打ち上げ続けて25年、ついには「夢のマシン」にたどり着いたのである。本当はこのロケットに生徒を乗せて飛ぶような実験が実現できれば最高なのかもしれない。しかし、そうはいかない。それならばせめて空中をゆっくりでいいから散歩するようなことができないだろうか。そしてそれが普通に理科実験室であり場所をとらずにできないだろうか。これが本実験器の開発の出発点である。水ロケットの時と同様に、楽しいだけではなくその実験を通してより効果的に物理法則を引き出し、深い理解につながられればそれに越したことはない。

多くの高校生にとって理科(特に物理)は難しく、選択したくない教科の上位を占めるようになってきている。ある統計(*2)によると、物理履修率は1970年代には80%以上だったが、2010年では20%以下になっている。また、昨年のある意識調査(*3)では「科学全体への意識が薄まっており、理科離れが一段と進んでいる。」という報告がでていいる。授業は理論と実験の両輪で進めることには論を待たない。そんな中、入学してくる高校生にとって、「物理はつまらない」から「物理の授業は楽しい」「わかりやすい」に変えることが是非とも必要である。日常的には地味な実験が多く、それはそれできわめて大切なことである。しかしながら、圧倒的に面白く、かつ理解が深まる、そんな実験もあっていいのではないか。

本実験器は物理だけでなく、他教科(地学、化学、生物、数学、歴史など)にも応用して使うことができる。また、生徒の発達段階に応じて目的やテーマを創造的に設定し、楽しく学ぶことのできる実験器として活用可能である。

○必要性・重要性

- (1) 授業で使える本当に面白いと思われる実験器具が待たれる。地味な実験も日常的には必要だが、たまにはわくわくするような実験もしてみたいと思うのが生徒の本音であろう。そして、それがあある現象の本質を突くような実験であれば尚よい。
- (2) 今、生徒にとって最も楽しい遊びは、誰にきいてもゲームが圧倒的多数を占める。学習しなければならない生徒にとってはまさに脅威である。その面白さに勝てるような学習実験器が是非とも必要だと考える。
- (3) 永き未来にわたって、日本が科学技術立国を目指す今、多くの生徒が理工系に興味・関心を寄せる一助になってほしい。

○前回の申請との違いについて

- (1) ジュールの実験疑似体験をエネルギー保存の法則とした。
- (2) 生物の授業に「夢のマシン」を応用した例を追加した。

○参考文献

- *1 佐山栄俊、「ロケットの空中爆発をめざして」、東京都理化教育研究会研究収録、2009.
- *2 日本学術会議による「物理分野の展望」の報告書、2010.
- *3 国立青少年教育振興機構、「高校生の科学等～意識調査」、2014

2. 内容の説明

- (1) 物理学学習実験器の製作方法及びその概略図→Fig.1
- (2) 本実験器の力学3項目（作用・反作用、遠心力、慣性）のための説明図→Fig.1 及びエネルギー保存則→Fig.2、電磁誘導→Fig.3、生物への応用例→Fig.4 の計6項目を扱う。
- (3) 実験方法は実際に乗って回転し空欄を埋める等して行う。
- (4) 実験を行った後、生徒にアンケートをとり、本実験器の使用によって授業内容の理解を深めるのに効果的であったかどうかを客観的に分析する。

○本実験器の製作方法及びその概略図→Fig.1

身近にある回転台を利用する。回転台を高さ 1.5mの台座に固定する。台座は厚めのベニヤ板を垂直な足にし、その上にベニヤ板の円盤を固定する。回転台に柱を水平に載せ固定する。柱の両端にブランコを取り付ける。さらに、水平に固定された柱の両端に扇風機を据え付ける。生徒2人がぶら下がっても水平柱がたわまないようにする為に、中心軸に支柱を垂直に立て、支柱から太い針金で水平柱両端に渡し結ぶ。針金の途中にターンバックルを挿入し、針金を張る。また、生徒の荷重に十分耐えられるように水平柱下の回転台下にキャスターを取り付けて補強する。

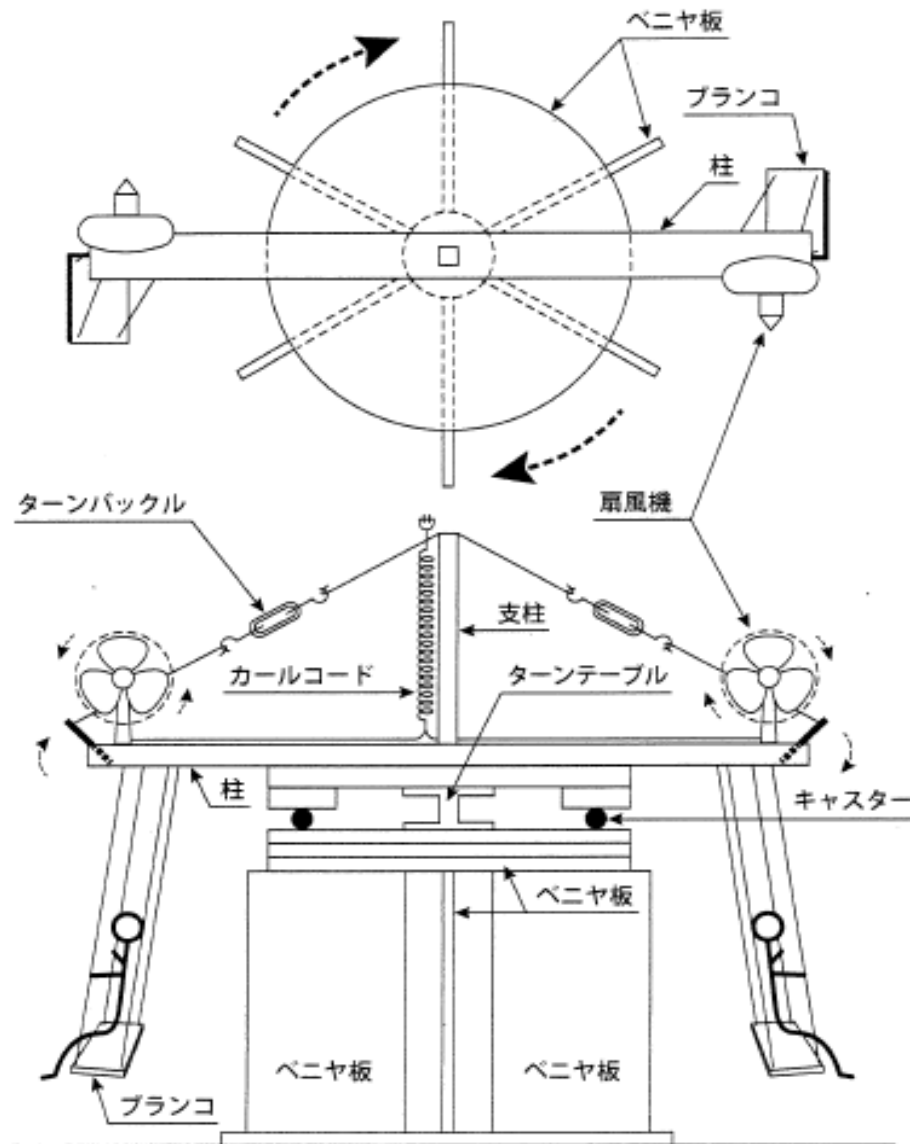


Fig.1 物理学学習実験器（夢のマシーン）

次の各実験事例について空欄を埋めながらすすめる。

A.運動の法則を体験的に確認する実験→Fig.1 (3 ページ)

ブランコに生徒を乗せ、扇風機の推力で回転させる。

○作用・反作用の法則：風を後方に送ったことで自分（扇風機と合体）は前方へ進めたか。→（回転し前に進んだ。）

○遠心力：本実験器に乗って回転することにより実験者自身がぶら下がった錘となって遠心力（慣性力）を感じたか。→（回転が速くなるほど外側に引かれる感覚だった。）

○慣性の法則：回転数が 0.13 (Hz) で扇風機のスイッチを切る。その後、停止するまでの時間は何秒かかったか。→ (31) sec、生徒の質量は 53 (kg) 及び 54 (kg) であった。

○エネルギー保存の法則の体験実験→Fig.2 (7 ページ)

ブランコに生徒を乗せ、定滑車を通した糸を 1.0 (kg) の錘（重力）で引く。

●予め床までの距離 y 、錘の質量 m_0 、ヒトの体重 m_1 、 m_2 を測っておく。錘を落下させ床に落下するまでの時間 t 、着地（床）直前の速さ v 、を測定する。

$$m_0 = (1.0) \text{ (kg)} ; \quad m_1 = (57) \text{ (kg)} ; \quad m_2 = (56) \text{ (kg)} ; \quad y = (1.1) \text{ (m)}$$

$$t = (10) \text{ (sec)} ; \quad v = (0.29) \text{ (m/s)} ;$$

本実験器の効率 e について求める。即ち、錘が与えた位置エネルギーの何 (%) が回転のエネルギーに変換されたのかを計算する。

●錘の位置エネルギーの減少分 ΔU は

$$\Delta U = m_0 \cdot g \cdot y = (1.0) \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (1.1) \text{ m} = (10.8) \text{ (J)}$$

●回転体全体が得た運動エネルギー（回転のエネルギー）

$$K = 1/2 \cdot I \cdot \omega^2 = 1/2 \times (172) \text{ (kgm}^2) \times (0.264)^2 = (6.0) \text{ (J)}$$

ここで I は慣性モーメント、 ω は角振動数である。

●この時のエネルギー効率 e は → $e = (K/\Delta U) \times 100 = (56) \text{ (%)}$

●失われたエネルギー ΔE は → $\Delta E = \Delta U - K = (10.8) - (6.0) = (4.8) \text{ (J)}$

●失われたエネルギー ΔE は何に使われたか。→（空気抵抗、キャスター回転、中心軸回転の摩擦熱などに使われたと考えられる。）

B.○地球磁場を利用した電磁誘導の実験→Fig.3 (7 ページ)

●回転円盤上に巻数、断面積ともに大きいコイルを搭載する。ブランコに生徒をのせる。

生徒には電圧計を持たせ、コイルの両端子から導線でこれにつなぐ。

●ブランコを手押しで回転させ、下記の条件でそれぞれの最大値を測定する。

f (回転数) ; V_{\max} (電圧計の振れの最大値) ; N (コイルの巻き数)

巻き数 N \ 回転数 f	200 回	400 回	600 回
0.06Hz	(2.4) mV	(5.2) mV	(7.8) mV
0.09Hz	(4.3) mV	(8.1) mV	(12.7) mV
0.13Hz	(6.4) mV	(12.3) mV	(18.9) mV

C.○生物への応用例

●Fig.4 (7 ページ) のような大きな核～DNA までを上下幅 80 (cm)、長さ 10 (m) の紙に描き、本実験器の周りに立て掛ける。生徒は細胞小器官のどれか一つを画用紙に描いて、それを胸部に付けてから本実験器に乗り周回する。核～DNA を見ると同時に、他の生徒は周回する生徒（胸部に付いた細胞小器官）を見ることになる。

3-1. 学習指導における実績

○物理を受講していない生徒に対して

本実験器の体験前後で物理に対する考え方がどのように変化したか、という調査を行った。運動の法則について本実験器を体験させた上で、物理で一年間やる内容の概略を説明し下記のアンケートを行った。
設問：あなたは選択科目に物理基礎を選択したいと思いますか。(総計 35 名)

夢のマシン体験前		夢のマシン体験後	
選択したい	14 (%)	選択したい	26 (%)
どちらともいえない	60 (%)	どちらともいえない	65 (%)
選択しない	26 (%)	選択しない	9 (%)

○物理を受講している生徒に対して

設問：下記の実験項目について自分の理解がどれほど深まったと思いますか。(総計 15 名)

理解度 内容	理解度			
	かなり深まった	まあまあ深まった	あまり深まらない	全く深まらない
作用・反作用の法則	60 (%)	40 (%)	0 (%)	0 (%)
遠心力 (慣性力)	64 (%)	21 (%)	14 (%)	0 (%)
慣性の法則	73 (%)	20 (%)	7 (%)	0 (%)
エネルギーの保存則	75 (%)	25 (%)	0 (%)	0 (%)
電磁誘導	50 (%)	42 (%)	8 (%)	0 (%)

○生物基礎を受講している生徒に対して

設問：Fig.4 にある大きな核～DNA までの絵図を、本実験器に乗り回しながら見て、細胞等についての理解がどれほど深まったと思いますか。(総計 35 名)

内 容	理解度			
	かなり深まった	まあまあ深まった	あまり深まらない	全く深まらない
大きさ順 核>葉緑体>ミトコンドリア>リボソーム	46 (%)	46 (%)	6 (%)	3 (%)
重い (大きい) ものほど遠心力が大きい (比重は全て水と同じ 1.0 と考える)	37 (%)	31 (%)	29 (%)	3 (%)
細胞小器官・DNA の図について	31 (%)	57 (%)	9 (%)	3 (%)
細胞分画法とは何か	14 (%)	46 (%)	37 (%)	3 (%)
扇風機で生徒 2 人を回転させると遠心力を生ずる	46 (%)	49 (%)	3 (%)	3 (%)
回転する自分が細胞小器官になりきったイメージができて楽しく学べた	49 (%)	37 (%)	11 (%)	3 (%)

○目的の達成度について

アンケートの結果より、本実験器が物理における力学の基本法則から電磁気学まで、さらには生物分野などにも十分に应用できることがわかった。各項目の理解度については、かなり深く～まあまあ深まった、も含めて平均で物理 94 (%)、生物への応用例では 82 (%) となっている。このことは本実験器を、授業に利用することで学習効果が明らかに増すということを示している。アンケート調査の母体数は多いに越したことはないが、15～35 名の総計数ではあっても、大まかな傾向をつかむことは十分に可能であると考えている。

3-2. 学習指導における教育上の効果1

○生徒による評価でみえること

アンケートを全て鵜呑みにして解釈することはできないが、少なくとも生徒の実験に対する評価や感想は概ね率直な意見と考えて、以後の授業の改善などの判断材料としてよいと考える。以下にその結果をまとめてみると、

- ① 生物受講者で、物理を選択したい、の希望者は、14 (%) → 26 (%) に増加している。逆に選択しないは 26 (%) → 9 (%) と減少している。元々、選択には迷いが半数以上ある中ではあるが、物理への関心が大きく向上した。
- ② 物理受講者においては、力学の各基本法則の理解度は、かなり深まった～まあまあ深まった、も含めれば 85 (%) ~ 100 (%) である。十分に目標が達成されたと考えられる。
- ③ 「回転する自分が細胞小器官になりきったイメージができて楽しく学べた」が 88 (%)、細胞等の理解度の平均でも 82 (%) に上っている。細胞分画法における遠心分離と本実験器の回転による遠心力を対比できるように、生徒が胸部に好きな細胞小器官の一つの自作絵を付けて搭乗したことにより、より一層理解が深まったのだろうと考えられる。

○生徒の主な声

A. 運動の法則を体験的に確認する実験

- *実験の全てが大きいので、とにかくわかりやすかった。
- *扇風機の風だけで生徒二人を回せるとは思わなかった。
- *扇風機で風を後に押せば、逆に風が扇風機を前に押し返しているのを実感した。
- *作用・反作用の法則を身近に感じられた。難しそうだが体験して納得できた。
- *回転が速くなるほど外側へ押し出される感覚があったので遠心力だと思った。
- *楽しい。子どもの頃を思い出した。お金をいれても乗りたい。
- *スイッチを切っても 30 秒間も回り続けたので、これが慣性の法則だと思った。
- *一つの実験器で5つもの法則を確認できるのはすごいと思う。
- *わずか 1.0kg の錘で生徒 2 人を動かすなんて驚きだ。
- *位置エネルギーの減少分が生徒二人の回転のエネルギーに変わったと実感した。
- *失われたエネルギーは、空気抵抗、キャスト部分、回転軸受け部分の摩擦熱に変化した。

B. 電磁誘導の実験

- *地球磁場 (20 (A/m)) は極めて弱いですが、地磁気が存在が方位磁針からではなく、コイルと一緒に回転しながら電圧計で測定できた。
- *発生する電圧の極性が半周ごとに変化することの確認ができた。
- *コイル断面積 0.9m × 1.6m をエナメル線で 600 回 (3km) も巻くなんてすごい。
- *磁場が弱く回転数も小さい。だから、起電力を大きくする為にコイル断面積と巻き数を大きくしているのか、と本実験器のコイル部分を見て実感した。

C. 細胞分画法の復習のための実験 (生物基礎) への応用例

- *大きい細胞小器官ほど重い (比重同じ) ので遠心力も大きいことがイメージできた。
- *大きさが核 > 葉緑体 > ミトコンドリア > リボソームであることを確認できた。
- *細胞小器官、DNA (A---T, G---C) の復習には大いに役に立った。

実験器の使用法についての図、Fig.2～Fig.4 を下記に提示する。(本実験器は 3 ページの Fig.1)

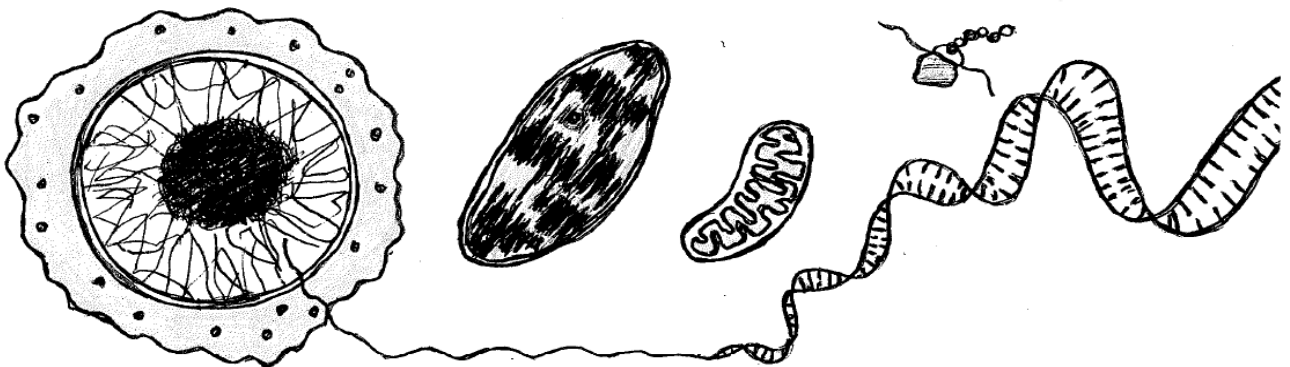
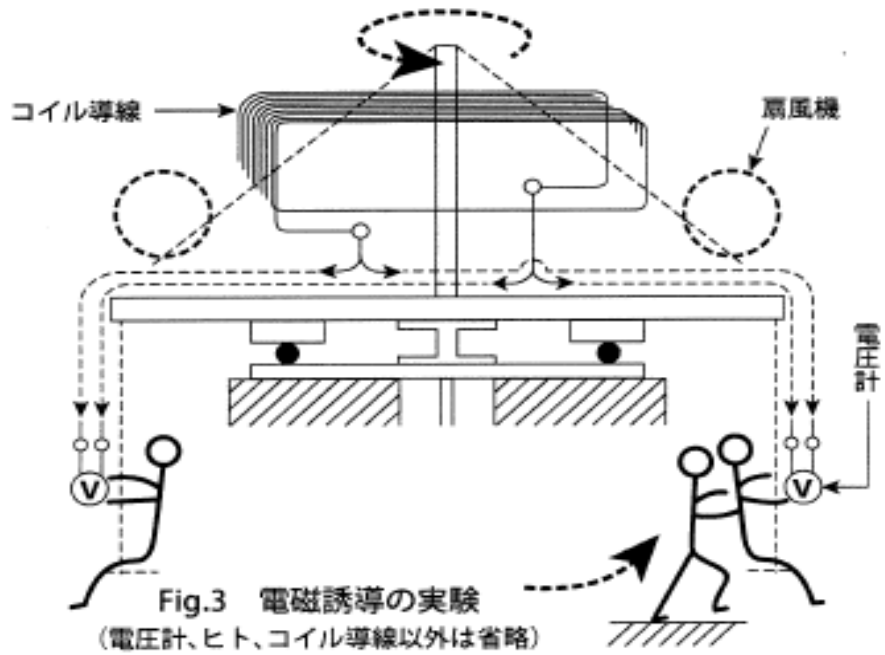
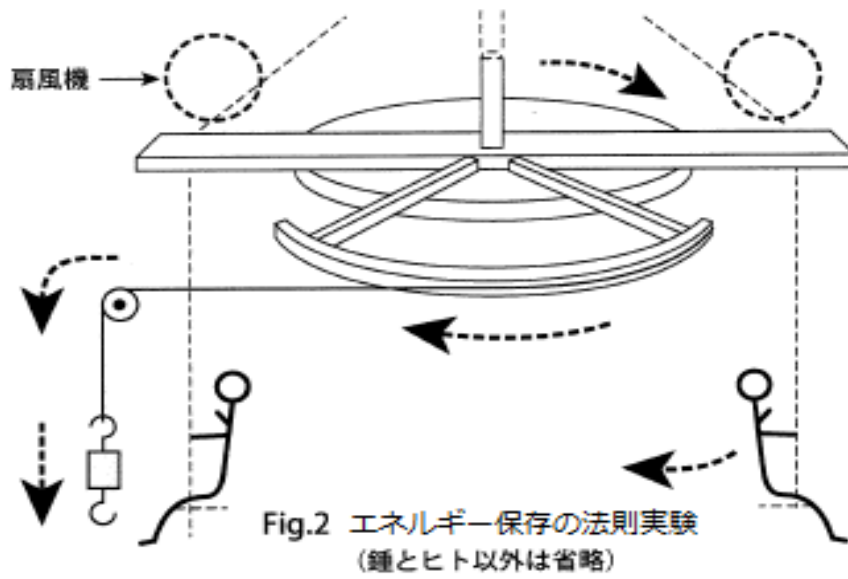


Fig.4 細胞分画法と DNA (乗って周回しながら見る)