

目 的

高等学校の進学率が94%に達している現状では学校間格差が大きく学習する生徒の能力分布も幅広く、従来の一斉講義、生徒実験、演示（デモ）等を含めた授業展開では生徒に理解させることが困難であり、特に論理性を重視する物理教科では生徒がついてゆけず、授業にならない高等学校が増大している。

本研究者が勤務した高等学校は、女子高校であつて物理の実験装置に乏しく、自然科学にあまり興味をもたない商業科の生徒が対象で、物理教科を担当した。

このように物理授業を実施するには極めて困難な教育条件のもとで、なるべく多くの生徒がわかる授業、多くの生徒が参加意欲を持つ授業を展開するための方法を開発することを本研究の目的としている。

以上の目的のため本研究者は授業形態に着目し、解決案として「作業」を物理授業に導入し、物理授業の作業化のための教材開発およびその評価を行った。

従って、本研究の具体的目標は、

- (1) 生徒にわかり易い指導展開の方法を探求する
 - (2) そのための授業の作業化の教材開発をする
 - (3) これらの作業が生徒にどのように受けとめられ、学習効果をもたらすか評価する
- 以上である。

概 要

研究目的の教育条件項目から、授業改善の方法として次のように考えた。

- (1) 生徒の学力レベルについては、ものさし、分度器等を用いた直接測定による具体化、グラフ

や図式に表わす視覚化に重点を置く。

- (2) 女生徒の特性を考慮して、細かい測定や単純な数値計算を行い、結果をグラフ化・図式化する。また、興味ある対象を教材とする。
- (3) 商業科の生徒であるから、ソロバンを導入し計算を作業化する。
- (4) 実験装置の不備により、デモンストレーション、OHP等の視聴覚や、身近で安価なものを教材として選ぶ。

授業形態としては、独自に開発したワークシートを用い、身近な日常的なものを教材として併用しながら、測定、計算、グラフ化・図式化を行い、得られた図グラフを用いて、講義討論して理解させるというパターンである。以上のように規定した場合、生徒の活動（測定とか作図）が主になるので「作業」と呼んでいる。このように作業の特長は、①簡単な作業具、②ワークシートの開発、③日常的な教材、④作図、図式化に重点を置く、ということになり、モデル化された実験装置を用いる従来の生徒実験とは区別される。また、一斉講義とも区別され、生徒の能動的学習活動が中心になっている。

紙面の都合上詳細は省略するが、その特長方法の概略を「作業教材のリスト」として、表1に示す。表1のすべての教材を記述すると膨大な量になるので、その中の運動量保存則（2次元）、相対速度、電界と等電位線、電荷のガウスの定理等について得られる結果を、一部図1～8および表2～3に示す。2次元衝突では、10円硬貨と床との動摩擦係数がほぼ一定であることを利用する所がポイントで、①やや定性的であるが、運動量ベクトルの概念が把握し易い。②1次元にすると、10円硬貨の反発係数が算出できる。③3つ以上の衝突の場合でも適用できる等の特長がある。

相対速度では、速度ベクトルの代りに位置ベク

表1 作業化のために開発した主な教材リスト

単元	目標概念	方法・内容	特長・その他
運動	平均の速さ 歩行の速さ	生徒を教室の端から端まで歩行させて、平均速度を測定する。	時間の測定として、脈搏や腕時計の利用、歩行距離の測定として床のタイルや歩幅の利用
	時刻と時間 座標と距離 平均の速さ 加速度 単位の換算	新幹線の時刻表を利用し、列車のダイヤグラムを作成させることにより、平均の速さの概念を掴む作業。 停車区間の距離の大小から、平均速度の差異より加速度の導入	時刻表を用いる所がポイントで、生徒は興味を有する。
	斜面の運動 加速度運動	ストロボ写真の解析と作図の作業	ストロボ解析は従来に同じ。
	放物運動 (水平投げ) 放物運動 (斜め投げ)	縮尺 1/100のグラフ上に、0.1(S) 毎の球の位置を記入する作図。 斜め投げは、仰角30°、45°、60°についての作図、ものさしにて直接測定	三角関数は用いない。 落下距離はソロバンで計算
物体に作用する力	力の平行四辺形の法則	力のつり合い実験と併用、おもりと糸を用いて3つの力のつり合い条件を10～15回変えて、つり合い時の角度を分度器で測定、ノートにそれを再現して、作図して調べる。	おもり、糸、スタンドを用いて、分度器で測定実験、実験後の作図の作業が重要
	力の合成と分解	つり合い条件下における力の合成と分解を、三角関数を用いなくて直接ものさしで測定する作業	ものさしで正確に直接測定する所がポイント
	物体に働く力	物体に働く力を、作図で記入。ものさしを用いて、力のベクトルの長さを測定したり、記入したりすることにより定量化する。	静止まっすぐ力等も記入させ、つり合い条件も学習させる。
	動まっすぐ力の測定	生徒実験が主である。教科書に記録タイマーのテープをはさみ、記録テープの解析によって動まっすぐ力を測定する。(力学台車を併用)教科書を積み重ねることにより、動まっすぐ力と垂直抗力の関係がグラフ化できる。	新しく開発した生徒実験であるが、教科書の間に記録テープをはさむ所が、アイディアである。
その他の力学	運動量保存則 (1次元)	生徒実験、およびストロボ写真の解析、運動量－時間の作図のグラフを画かせる作業	従来とあまり変わらないが、きれいに保存則がわかる。
	運動量保存則 (2次元)	10円硬貨を3枚用いて、実験用のきれいな床の上にコピー用紙をおいて衝突させる。静止するまでの距離の平方根を速さの代用としてコピー用紙上で2次元衝突の作図	動まっすぐ係数が、ほぼ一定になっていることを用いる所がポイント。 (参考文献1)参照
	相対速度	$\vec{V} = \vec{V}_A - \vec{V}_B$ の代りに、一方からみた他方の相対的な位置を 0.1(S) 毎に作図する。大変理解しやすい作図法の開発。速度の大きさはものさしによる直接測定	複雑な運動の組み合わせでも適用できる所がメリットである。 (参考文献1)参照
	周期の測定	チョークに糸をつけた円運動の周期の測定、モータに回転板をつけ周期の測定等、教室の教卓で演示しながら、2人1組で測定させる。ストロボも併用する。	腕時計を用いて、1人が読みとり1人がカウントする。
	単振り子 ばね振り子	単振り子、ばね振り子を演示しながら、働く力を記入させ、合力をいろいろな場所で求める。プリント上の合力をものさしで測定し、合力が振動の中心から比例することをグラフ化する作業、速さの変化については、ストロボも併用する。	合力は、赤ペンで記入させる。単振動は数式だけの理解は大変困難である。
	力学的エネルギー 保存法則	生徒実験、ストロボ写真解析による作図の作業	ストロボ解析は従来に同じ。
	波の進行	波の位置をグラフ用紙に記入。進行した波を次々に作図させる。進行と振動の関係がよくわかる作図法である。	波の位置を点で記入させる。

単元	目 標 概 念	方 法 ・ 内 容	特 長・そ の 他
波 動	波 の 屈 折	平面波の屈折で作図する。ものさしによる波長の直接測定、分度器による角度の測定等により、屈折の公式を確める。 水波の観察のデモンストレーションも併用する。	ものさし、分度器の使用による測定と作図
	波 の 干 渉	コンパスを用いて作図し、強め合う点、弱め合う点を求め、干渉条件を求める。デモンストレーションも併用する。	赤ペン、青ペンを用いて作図させる。きれいに仕上がる。
	定 常 波	波の重ね合せの原理を用いて、重ね合せの波の作図 定常波の節と腹の学習	赤ペン、青ペンを用いる。
	弦 の 振 動	ギターを用いる。フレット間の長さをものさしで測定して、音階の関係をグラフ化して調べる。ギターの調整ネジの回転角と音の高低の関係も調べる。オシロスコープも併用する。	ギターを生徒に持ってこさせ、班毎に測定させ学習させる。
電 気	電界と等電位線	コンピュータでプリントされた電位の数値の記入されたワークシートを用いて、手書きで等電位線、電気力線を画くことにより、電界の概念をつかまえる。デモンストレーションを併用することも重要である。	コンピュータでワークシートを作成する所がポイント (参考文献2)参照)
	電荷のガウスの定理	同 上	同 上
	ワ ッ ト 数 配 線 図	建物の平面図を与え、種々のワット数をもつ照明や家庭電器製品を書き込み、配線図を作図させ、ワット数の計算、定格電流値、月額電力料金等の計算をさせる。	女子高校生のため、家庭科の関連で作業させる。
光	光 の 反 射	分度器を用いて、平面鏡での多くの反射光線を作図させ、その延長として虚像ができることを調べる。 また、多重反射についても作図する。	分度器、ものさしによる作図
	光 の 屈 折	分度器、三角関数表等を用いて、いろいろなガラスや水の組み合わせの中を光が屈折していく光線を作図させる。角度はプリント上で直接測定する。但し、屈折の公式は生徒実験する。また、プールの水面の写真をもて、プールの底の見え方を作図により求める。	分度器による直接測定、三角関数表、ソロバンを用いた計算、生徒に好評
そ の 他	シャルルの法則 水の飽和蒸気圧等	生徒実験に作業を加えたものである。300cc用フラスコに50cc用注射器をゴム栓でつけて、温度上昇と共に、グラフに体積増加をプロットする。また、フラスコ内に水を少量入れ同様に実験する。体積増加から、水の飽和蒸気圧を計算する。エーテルの蒸気圧については平和島のおもちゃを演示する。	従来の生徒実験に改良を加えて開発した。簡単でラフであるがシャルルの法則は正確に求まる。

表 2 1次元衝突で求めた10円硬貨の反発係数の測定結果

No.	V_1	V_2	V_1'	V_2'	e
1	0	4.48	3.87	2.54	0.30
2	0	4.32	3.74	2.45	0.30
3	0	3.88	3.32	2.22	0.29
4	0	3.46	3.05	1.93	0.32

$$\bar{e} = 0.30$$

トルを用いる所がポイントで、複雑な運動の組み合わせでも適用でき、理解しやすい特長がある。

電界の単元では、コンピュータでワークシートを作成する所がポイントで、特に通常実験では証明が不可能と思われる、電荷のガウスの定理が簡

単に検証できる等の特長がある。また、実際の測定、作業の状態については、弦の振動例を含めて写真

表 3 図 8 からの電荷量と電気力線の数

閉 曲 面	電 荷 $\sum_i q_i$	電 気 力 線 の 数		
		+	-	総 和
C - 1	0	9	9	0
C - 2	+ 1	25	9	+16
C - 3	- 3	0	48	-48
C - 4	- 1	5	21	-16
C - 5	+ 2	32	0	+32

但し、+は閉曲面より外に出ていく。
-は閉曲面より外から入ってくる。

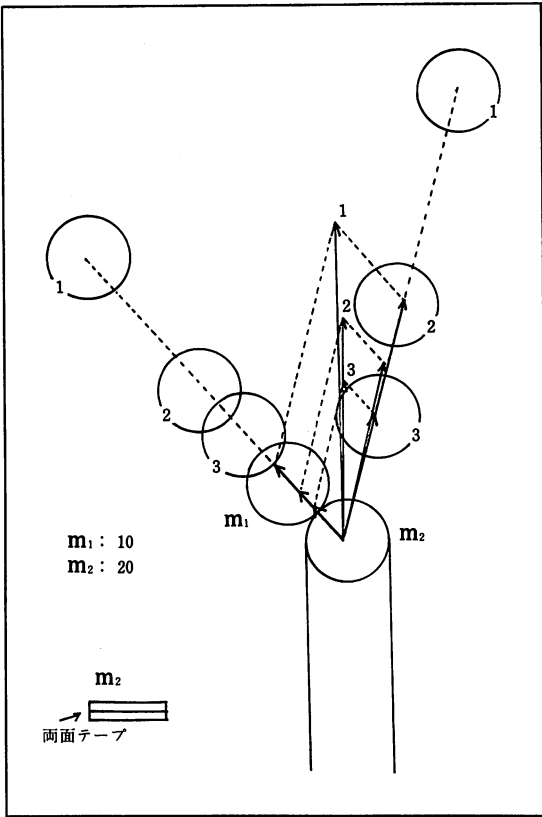


図1 10円と20円の衝突の例
(2次元衝突による運動量保存則)

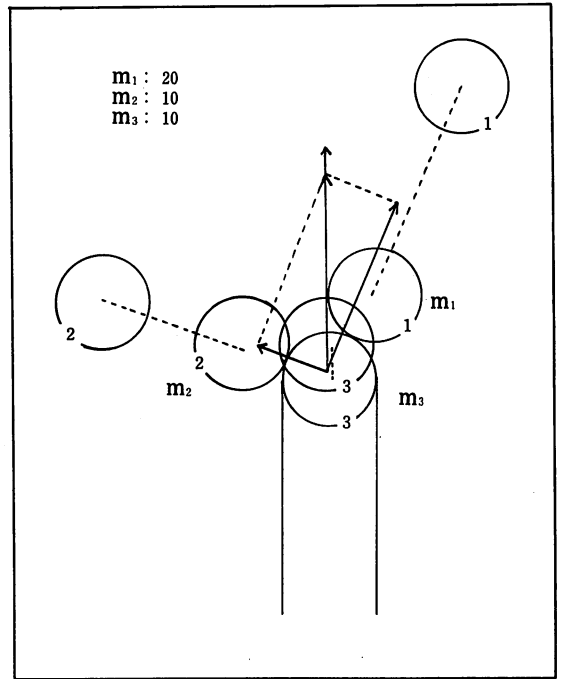


図2 3つの場合の衝突の例
(2次元衝突による運動量保存則)

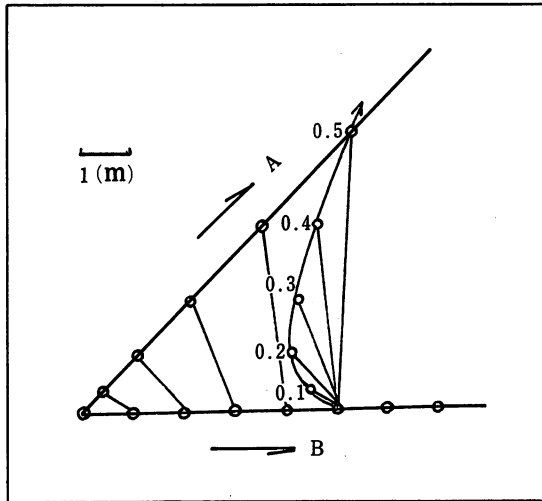


図4 BからAをみたAの位置の作図
数字は時刻を示す、Bが等速直線運動で、Aは等加速度直線運動の場合、相対速度の大きさはものさしによる直接測定、0.5(S)を基準

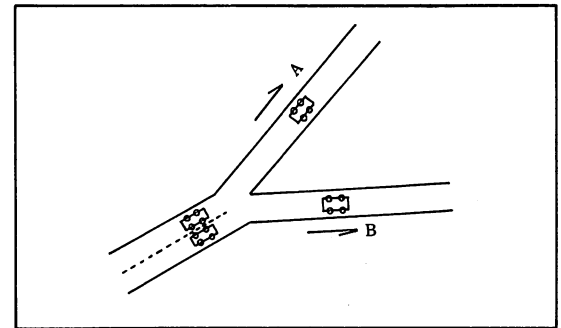


図3 A, B両車輛の模式図(相対速度の単位)

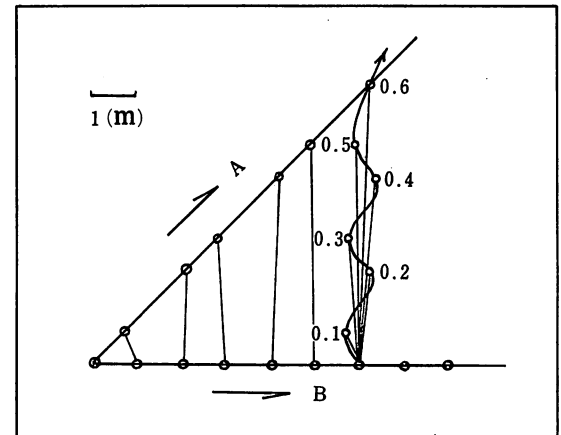


図5 速さにむらのある運動と、等速直線運動の場合、0.6(S)を基準

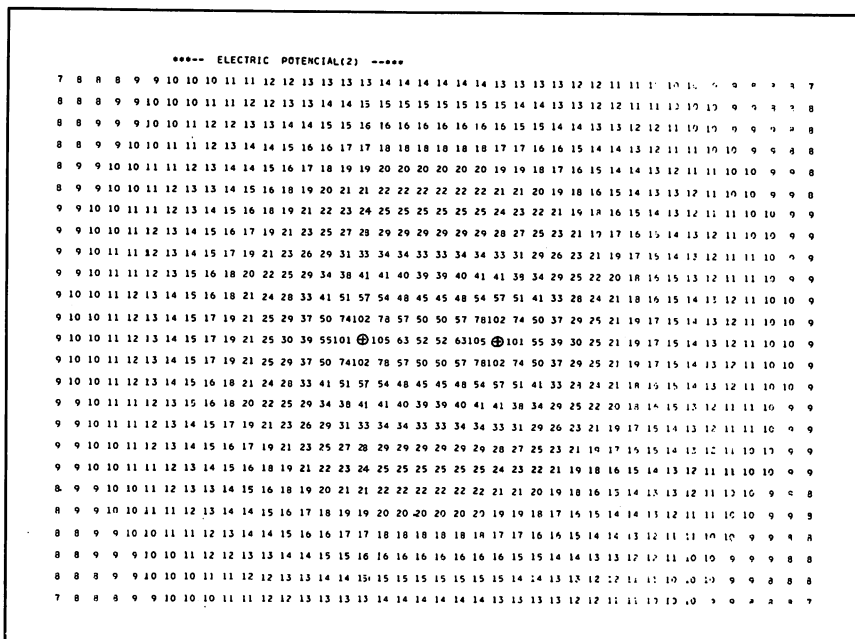


図6 正電荷が2つある場合の電位計算のワークシート

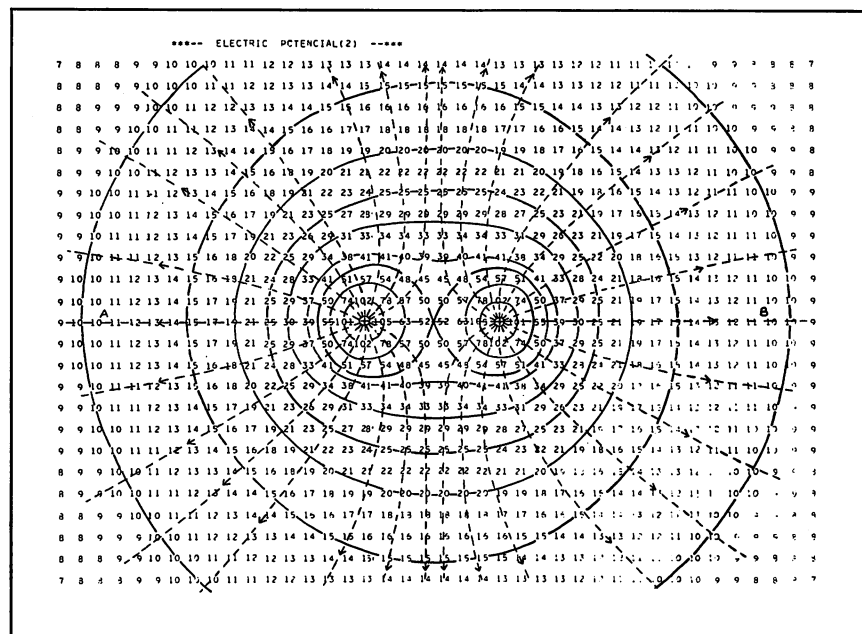


図7 正電荷2つの場合の等電位線、電気力線をかき入れる作業

ション（例えば、水波投影機による水波の観察等）および一斉講義を、上記の作業に加えて授業を構成し実践した。

作業と生徒実験、デモンストレーション、一斉講義は同程度の割合で実践しているが、作業に伴うワークシート、生徒実験に伴う実験の手引書等のプリント数は約50枚程度になっているが、年毎に改良したり、あまり教育効果のない教材は取捨選択したりして現在に至っている。

各年度の始め生徒には、(1)分度器、ものさし、腕時計、コンパス、赤青等のボールペン、グラフ用紙、糸等の作業具を用意しておく。(2)プリント数が増大するので、物理専用のファイルを用意する。(以上のプリントの他に、問題演習用プリント数も年間約50枚程度配布しており、ほとんどが家庭学習用としている。) (3)ノートは丁ねいにとり、必要に応じてグラフ等の取り付けできるようにしておくこと等伝えておく。実際の作業

1～3に示す。

〔注〕写真1～3は79頁に掲載

学習指導方法

実際の授業では、生徒実験（例えば、記録タイマーを用いた運動の法則の実験）、デモンストレー

における授業展開の具体例は、参考文献1)、2)を参照されたい。作業の授業展開場面では、特に生徒の作図や測定等の活動の時間が多いので、この間教師は机間巡視することにより、遅れている生徒を個別指導する。授業時間内では作業が終了しない場合もあるので、この場合は家庭学習として

次回に提出させるようにしている。

効果

作業の特長は、①具体化、②視覚化、③作図化であり、別の見方をすれば、測定→計算→作図→考察の活動をくり返すことによって一つの概念を把握する方法とでもいえる。従って、時間はかかるが生徒自身の手によって仕上げていく過程が学習意欲を促進し、理解し易くさせる要因になっていると考えられる。

実際の授業場面では、作図の段階で喜びの声をあげたり、授業が終って教師が教室を離れても作業を続けている生徒も多い。また、作業の家庭学習のレポートの提出率も大変良好であり、きれいに仕上げており、ていねいに書いている生徒が多くなった。これらも一つのバロメータと考えられる。

作業効果の客観的評価として、A.授業形態としての作業を、それを受けとめる側の生徒の示す理解度、満足度からの分析、評価、B.生徒の学習行動としての作業、すなわち、教師説明を聞く、デモンストレーション等を見る、発表する、測定作図等の作業をするというように位置付けた時の分

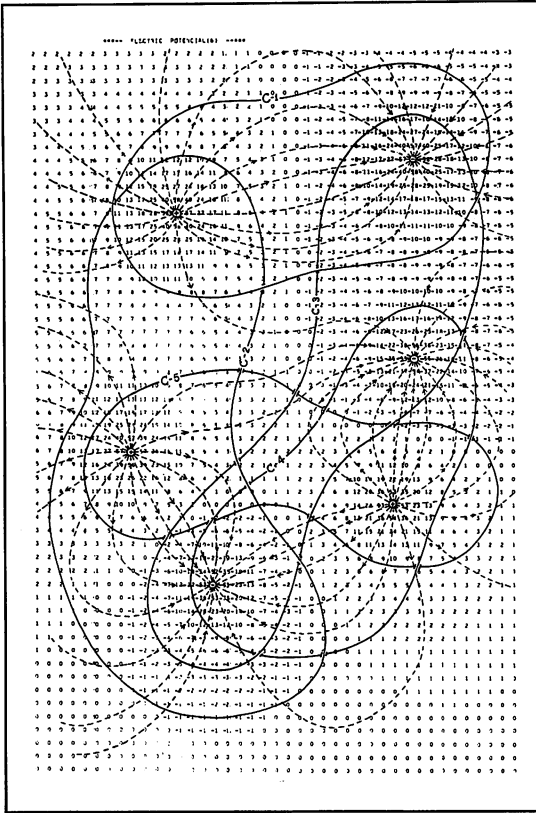


図8 電荷のガウスの定理検証のためのワークシート
C-1～C-5が任意の閉曲面

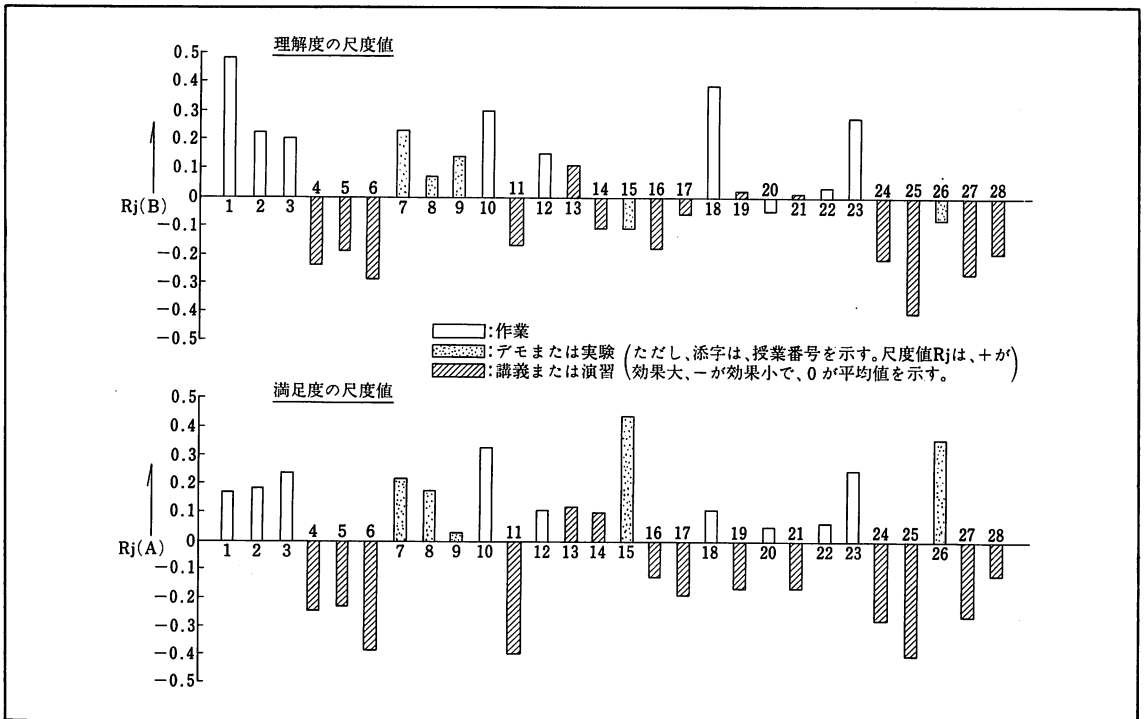


図9 各授業形態における、理解度、満足度の尺度値による比較

析、評価の二つの側面から検討した。

その結果、Aについては、約3ヵ月間に28の授業の長期データの分析から、一斉講義、実験、デモに比較して、作業が理解度の上に効果のあることが判明した。Bについては、テープレコーダを用いた約1年間の授業記録の分析により、作業を含む生徒の能動的学習が、より高い学習効果を導くことが判明した。

その結果の一部を図9に示す。

以上の詳細なデータおよび分析方法とその結果については、参考文献3)、4)を参照していただきたい。

参考文献

1) 赤堀侃司：物理教科の作業化の事例、日本物

理教育学会誌、Vol.27, No. 2, 125～130 (1979)

2) 赤堀侃司：物理教科の作業化の研究－コンピュータの応用－、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 19, No. 1, 51～61 (1978)

3) 赤堀侃司：物理教科の授業分析、日本教育工学雑誌、Vol. 2, No. 1, 7～17 (1977)

4) 赤堀侃司：物理教科の授業分析(Ⅱ) 日本教育工学雑誌、Vol. 5, No. 1, 1～12 (1980)

研究者の所属機関所在地

〒410-33 静岡県田方郡土肥町土肥870-1

静岡県立土肥高等学校

TEL (05589) 8-0211



写真1 電界の単元：電子計算機室、電界の単元のワークシートを作成するため、コンピュータを利用して、ラインプリンターからそのまま出力させる。



写真2 電界の単元：作業と併用して、電気力線を直接観察させる、ヴァン・デ・グラフ起電機を用いて高電圧をかけ、花の種子による電気力線を OHP で投影する。

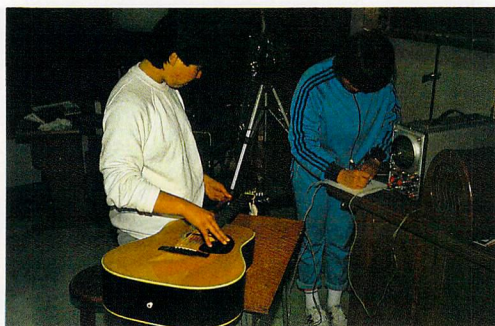


写真3 弦の振動の単元：フレット間の距離を、ものさしで測定する。振動数と弦の長さの関係を求める。