

自転車用空気入れを利用した圧力実験装置の開発

川崎 善照・中野 英之・村上 忠幸

(京都教育大学大学院・京都教育大学教育学部・京都教育大学教育学部)

Development of educational materials for pressure experiments using an inflator for bicycle

Yoshiaki Kawasaki・Hideyuki Nakano・Tadayuki Murakami

2012年11月30日受理

抄録：中学校理科の圧力分野において、減圧実験は頻繁に行われるが加圧実験が行われることは少ない。その原因として、加圧実験装置が非常に高価であることが挙げられる。著者らは、減圧だけでなく加圧の実験も行うことでより圧力分野の理解が促されるのではないかと考え、身近な材料を用いて安価に作製できる加圧・減圧実験装置の開発を試みた。開発した実験装置を用いて中学生を対象に圧力の変化によるものの変形と炭酸水生成の実験の教育実践を行った。実践の結果、本教材は生徒が楽しみながら圧力に対する理解を深めることに一定の効果があることが示された。

キーワード：気圧実験、圧力実験装置、自転車用空気入れ、炭酸水

I. はじめに

日常生活の中には、減圧や加圧をすることにより作られるものや、減圧や加圧を利用したものが多くある。例えば、圧力鍋や炭酸水、加圧トレーニングなど多くのものが挙げられるが、生活の中で圧力の原理やその特徴について考える機会は少ない。圧力は身近な事象であるにも関わらず、それが利用されていることに気付かないことも多い。

中学校学習指導要領解説理科編では、圧力分野において、スポンジなどの柔らかい物体に接触面積を変えて同じ力を加えたときのへこみ方を調べさせ、単位面積あたりに働く力の大きさとして圧力の概念を形成させる実験が示されている。大気圧については、缶をつぶす実験、ボンベ内の気体を放出して質量を測定する実験など、大気圧と空気の重さの関係について触れられている。また、中学校理科の圧力分野では様々な実験が取り入れられているが、その多くは簡易真空実験装置を使用した減圧実験である。容器内をポンプによって減圧することにより、風船を膨らませることや、白い霧を発生させる実験（雲の発生実験）などが行われている。しかしながら、これらの実験はすべて減圧のみに着目したものであり、加圧に関する実験が行われることは少ない。減圧すれば風船が膨らむことを示すのであれば、逆に加圧することで風船が縮む様子を示すことで、圧力の理解を促すことができるのではないかと考える。また、加圧実験が行われない要因の一つとして、加圧するための実験装置が身近にないことが挙げられる。市販の加圧実験装置も存在するが、どれも高価で教育現場で購入することは非常に難しい。

これらのことから、著者らは減圧と加圧の実験が同時に行うことで、圧力への理解をより促すことができるのではないかと考え、減圧だけでなく加圧のできる実験装置を開発することにした。また、開発にあたっては、なるべく安価で身の周りにある材料を用いて開発することにした。

Ⅱ. 教材開発

1. 圧力実験装置の概要

装置の開発の要となる減圧・加圧の開発にあたっては、児童・生徒にとって身近な器具であり、加圧を体全体で体感できることから自転車用の空気入れを用いることにした。本研究では、これを改造することにより減圧と加圧実験を行うことのできる装置の開発を行うことにした。

自転車用の空気入れは図1の構造をしており、握りを引くことによりピストンとシリンダーの隙間からシリンダー内に空気が入り（図1. 1）、握りを押し上げることによりピストンが圧縮されて逆止弁を通して蓄圧タンクに空気が送り出される（図1. 2）。なお、逆止弁とは、流体の逆流を防ぐための弁であり、自転車用空気入れにおいては、タイヤの空気圧を高めるために使用される。

本研究では、シリンダーに穴を開け、逆止弁を取り付けた吸気ホースを接続するとともに、シリンダーの内径を合わせたゴム栓をピストンに取り付けることによりシリンダー上部からの空気の流入を防ぎ、シリンダー内の気密性を高める改造を行った。この改造により、握りを引くことにより、吸気ホース側からシリンダー内に気体が入り（図1. 3）、握りを押し下げることにより、吸気ホース側からシリンダー内に入った気体のみを圧縮して蓄圧タンクに送り出すことができる（図1. 4）。吸気ホース側に圧力容器を接続することにより減圧実験を、排気ホース側に圧力容器を接続することにより加圧実験を行うことができる（図2）。

本研究では以下の視点をもとに自転車用空気入れを改造した減圧・加圧装置と圧力容器の開発を行った。

- 安価に製作可能で、材料が比較的入手しやすいこと。
- 圧力容器内の圧力を定量的に測定できるようにすること。
- 2気圧以上に加圧することが可能であること。
- 物体が加圧・減圧されている状態が見えること。
- 圧力容器の中に、ある程度の大きさの物体を入れることが可能なこと。
- 空気だけでなく、 O_2 、 CO_2 、 C_3H_8 などの気体を圧力容器に注入できるようにすること。

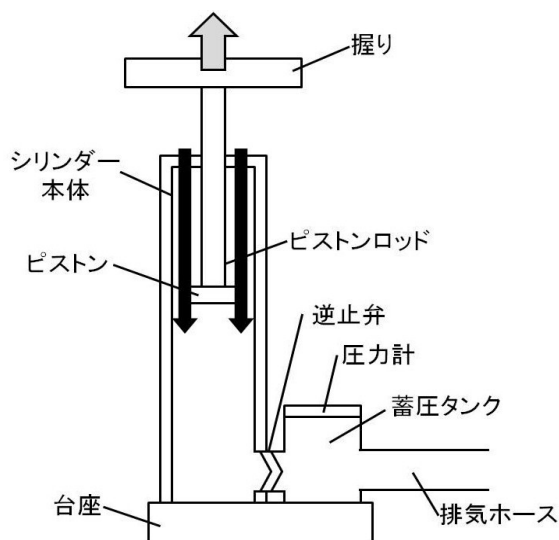


図1. 1 既製の自転車用空気入れ（吸気時）

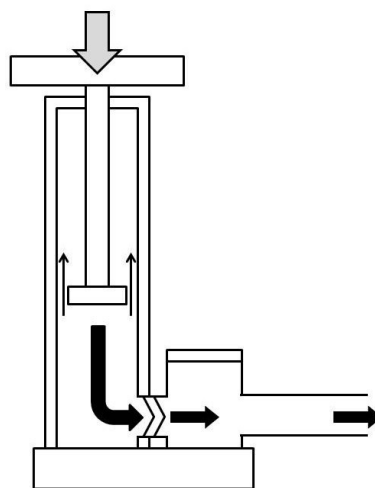


図1. 2 既製の自転車用空気入れ（排気時）

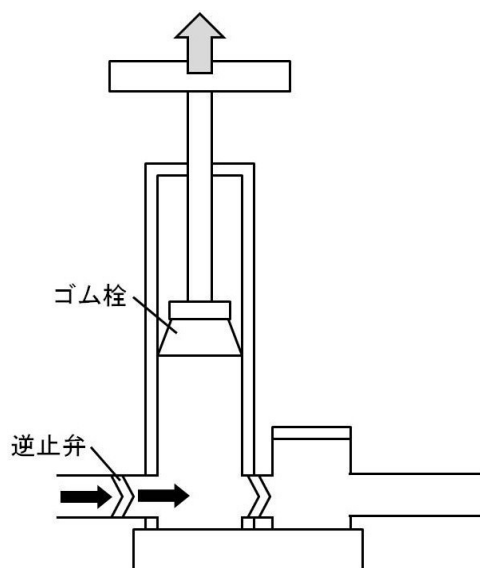


図 1. 3 開発する圧力ポンプ（吸気時）

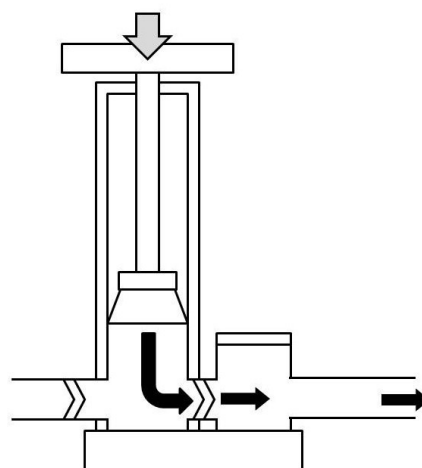


図 1. 4 開発する圧力ポンプ（排気時）

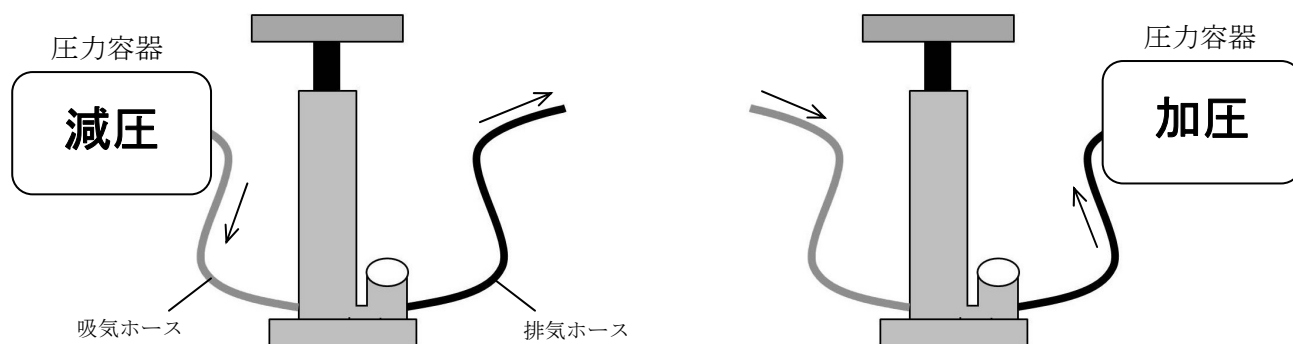


図 2 圧力容器内の減圧・加圧

2. 圧力実験装置の開発

(1) 圧力容器の開発

【準備物】

ジャム瓶 (600 cc), ユニクロ丸ワッシャー (12 mm), ゴム板 (3×100×100 mm), ベニヤ板 (10×120×120 mm), ナット付六角ボルト (12×150 mm)

【作製手順】

- ① ベニヤ板を 120×120 mm に切りとり、2 枚作る。ベニヤ板の一方を上板とし、もう一方を下板とする。
- ② 上板・下板のそれぞれ両面の中心に×印を付ける。
- ③ ゴム板を 100×100 mm に切りとり、上板の裏面に木工用ボンドで接着する。
- ④ 上板・下板のそれぞれに、角から中心に向かって 25 mm の位置に、ボール盤を用いて直径 12 mm の穴を計 4 箇所開ける (図 3)。
- ⑤ 上板の中心にボール盤を用いて直径 2 mm の穴を開ける。
- ⑥ 上板の表面 4 箇所の穴と下面の裏面 4 箇所の穴に木工用ボンドを用いてワッシャーを固定する (図 4)。

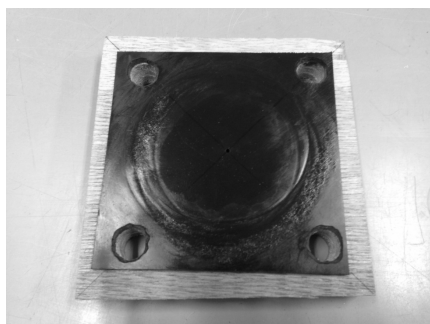


図3 ゴム板を貼った上板裏面

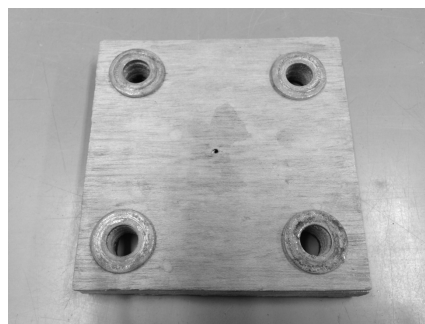


図4 ワッシャーを取り付けた上板表面

- ⑦ 下板の4箇所の穴にボルトを裏面から通し、木工用ボンドで固定する(図5)。
- ⑧ 下板に瓶を置く。
- ⑨ 上板の4箇所の穴にボルトを裏面から通し、ナットで固定する(図6)。



図5 金属棒を取り付けた下板表面



図6 完成した圧力容器

(2) 圧力ポンプの開発

【準備物】

自転車用空気入れ (TASONIC タンク付エアーポンプ), 逆止弁付ボールバルブ 13 (株式会社 KVK), 浄水器用ホースニップル, テープ状コーク, ボール用空気針, ホースバンド, ゴム栓 (8号), ホース

【作製手順】

- ① 自転車のタイヤチューブからバルブの部分を取り取る。
- ② 自転車の空気入れのピストン部分を取り出す。
- ③ シリンダー部分の下から 20 mm のところに直径 6 mm の穴を開ける。
- ④ 穴を開けた部分に、シリンダーの内側からバルブを通し、接着剤で固定する(図7)。
- ⑤ ホースを 5 cm に切りとり、シリンダーに固定したバルブと逆止弁ボールバルブをホースで接続する(図8)。
- ⑥ 逆止弁ボールバルブのもう一端に 1 m のホース (吸気ホース) を接続する。ホースのもう一端には、ボール用空気針を装着する。
- ⑦ ホースの端の接続部分にそれぞれホースバンドを取り付け、ホースが抜けないようにする。
- ⑧ ピストンの先端中心部分にゴム栓を取り付け、ネジで固定する(図9)。
- ⑨ ピストンをシリンダー内に戻す(図10)。



図 7 シリンダーに取り付けたバルブ

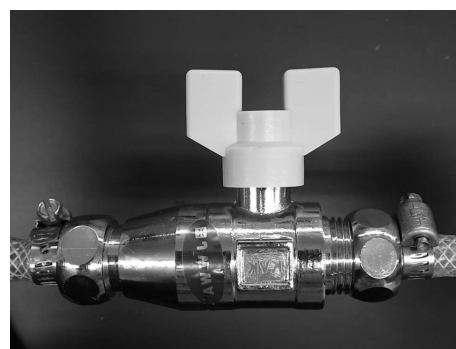


図 8 逆止弁ボールバルブ

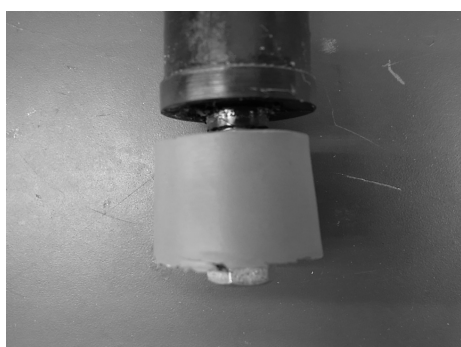


図 9 ピストン先端に取り付けたゴム栓



図 10 完成した圧力ポンプ

3. 圧力実験装置を使用した実験

本研究で開発した圧力実験装置を用いた実験の検討を行った。

(1) ものの変形

圧力容器に物体をいれて、減圧・加圧をすることで物体の形を変形させる。

【準備物】

圧力ポンプ，圧力容器，風船，マシュマロ

【実験方法】

- ① 圧力ポンプの吸気ホース先端を圧力容器に取り付ける。圧力容器内に物体（風船，マシュマロなど）を入れ、減圧させる。物体が変形する様子を観察する。
- ② 圧力ポンプの排気ホース先端を圧力容器に取り付ける。圧力容器内に物体を入れ、加圧させる。物体が変形する様子を観察する。

【実験結果】

圧力容器内の気体（空気）を抜いて減圧することで、物体が膨張すること、容器内に気体を注入し加圧することで、物体が収縮することを確認することができた（図 11）。



加圧前



加圧後

図11 圧力容器内に入れて加圧前後の風船の様子

(2) 炭酸水の生成

圧力実験装置を使用して、炭酸水の生成実験を行う。実験の概要は、吸気用ホースから二酸化炭素をシリンダー内に取り込み、排気用ホースから二酸化炭素を圧力容器内に注入する。容器内に冷水を入れておき、冷水に二酸化炭素で圧力をかけて気体を溶解させる。

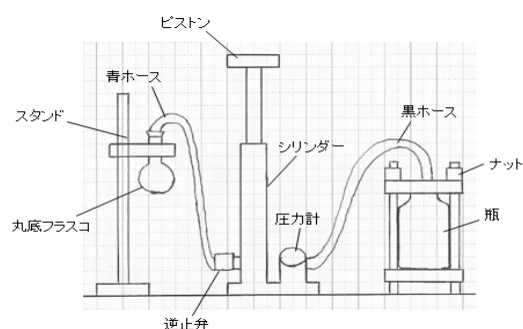


図12 炭酸水生成装置の概要図

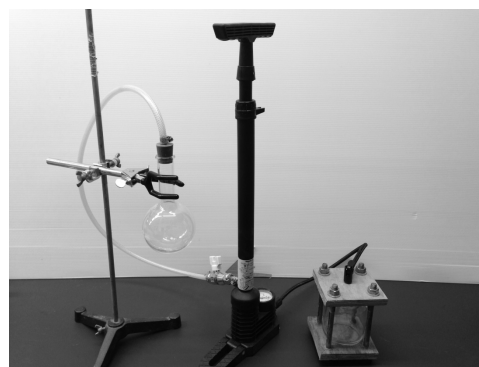


図13 炭酸水生成装置

【準備物】

圧力ポンプ、圧力容器、丸底フラスコ、ゴム栓、スタンド、重曹、クエン酸、冷水、スパナ、薬包紙、電子天秤

【実験方法】

- ① 圧力ポンプの黒ホース先端を圧力容器に取り付け、青ホース先端にゴム栓を取り付ける。ポンプのピストンは奥までしっかり押し込んである状態にする。
- ② 圧力容器内に冷水を入れて、ナットを締める。このとき、ナットは弛めておく。
- ③ 重曹とクエン酸を3gずつ薬包紙にとり、丸底フラスコ内に入れる。
- ④ フラスコ内に水を入れて、青いホースが付いているゴム栓で蓋をする。
- ⑤ ゴム栓で蓋をした後、10秒程度待つ（圧力ポンプ、ホース、圧力容器内に気体が充満させるため）。
- ⑥ ある程度気体が充満したら、スパナを使って圧力容器のナットをしっかりと締める。
- ⑦ 圧力ポンプのピストンを持ち上げて（フラスコ内から気体を）吸気し、押し込んで（圧力容器内に気体を）排気する。途中、フラスコ内の気体発生が弱まったら、フラスコを軽く振って反応を促す。または、重曹とクエン酸を3gずつ足し、再びピストンを動かす。

- ⑧ 圧力容器を時々振って、気体を冷水によく溶かす。
- ⑨ ⑦と⑧を繰り返し行い、圧力ポンプの目盛りが 4〜4.5 気圧になるまで継続する。
- ⑩ 4〜4.5 気圧になったところでピストンの動きを止め、スパナを使って圧力容器のナットを取り外し、瓶内に炭酸水が生成されているか確認する。

【実験結果】

圧力容器を開放すると、圧力容器内に入れた冷水は図 14 のように気泡が発生した。試飲してみたところ、炭酸水のような感じがした。炭酸水が生成できたと言える。



図 14 生成した炭酸水

4. 考察

圧力実験装置開発における留意点について検証する。圧力実験装置の製作費用は総額で 4500 円程度であり、比較的安価に製作できたと考えられる。圧力計を付属していないものを採用すれば、更に安価に製作可能である。

表 1 圧力実験装置の製作費用内訳

圧力ポンプ	費用(円)	圧力容器	費用(円)
自転車タイヤ用空気入れ	2000	ベニヤ板	100
逆止弁ボールバルブ	1300	ナット付六角ボルト	240
ホース	200	ゴム板	150
ボール用空気針	50	ジャム瓶	300
ホースバンド	100	計	790
計	3650		

逆止弁ボールバルブも、より安価なものに代えることで費用を抑えることができる。加圧の圧力については、採用する空気入れのタイプによるが、今回採用したものでは 5 気圧まで達成することができた。圧力容器にジャム瓶を使用することで、容器内を観察することができ、ある程度の大きさのものでも入れることが可能になった。ジャム瓶は一般的なガラスコップやビーカーよりもガラスが厚く丈夫にできているため、5 気圧程度の圧力で破裂することはないと考えられるが、5 気圧以上を想定する場合には、特殊な容器を使用する方がよい。また、圧力ポンプ製作の過程で注意することとして、気体の漏出が挙げられる。少しの隙間からでも気体が漏れ出してしまうため、パテ等を使用して隙間を塞ぐ必要がある。

ものの変形に関する実験は中学校の圧力分野で頻繁に行われてきた実験であるが、今回開発した実験装置でも

同じような現象が見られたことから、圧力の実験装置として使用可能であると考えられる。炭酸水生成実験においては、市販されているような気泡が多量に出る炭酸水（図 12）を生成することができた。本実験から、本研究で開発した圧力実験装置は空気だけでなく、二酸化炭素など他の気体でも圧力を加える装置として使用することが可能である。

Ⅲ. 授業実践

1. 実践計画

開発した圧力実験装置を用いて中学生を対象に授業実践を行った。対象とした中学生は、本学で実施されたSPP（サイエンスパートナーシップ・プロジェクト，2012年7月4日）に参加した、宇治市立北宇治中学校3年生11名である。

(1) 学習の目標

圧力実験機を使用して、圧力（気圧）の特徴（「あらゆる方向からはたらく」等）について理解させるとともに、圧力が身近なものに利用されていることを実感させる。

(2) 授業の展開

区分	学習活動と内容	指導上の留意点・支援	準備物
導入	1. 圧力（気圧）の存在を実感する。 ●中心に取手のついたゴムマットを持ち上げて、大気圧を実感する。 2. 圧力について知っていることを、ワークシートに記入する。 ●1 cm²あたりに 10 N の圧力（気圧）がかかっていることを復習する。	○圧力（気圧）が身の周りにはたらくていることを実感させる。 ○圧力はどのようなところで使われているか、圧力にはどのような性質があったかなどを確認させる。	ワークシート
展開	圧力（気圧）の実験を通して、圧力の特徴を理解し、身の周りで利用されている圧力について考えてみよう 3. 圧力実験装置を用いて、減圧・加圧の現象について考える。 ●圧力ポンプ、圧力容器を使用して、減圧・加圧の実験を行う。圧力容器内に風船とマシュマロを入れ、減圧・加圧することにより、物体がどのように変形するかについて観察する。 4. 圧力実験機を用いて、炭酸水を生成する。 ●圧力ポンプ、圧力容器を使用して、炭酸水を生成する。圧力容器内にできた炭酸水	○各班に圧力ポンプと圧力容器を設置し、それらの使用方法を演示する。 ○風船やマシュマロなど以外にも、生徒が入れたてみたいと思うものを入れて、実験を行う。 ○物体の形がどのように変化したのかを確認させ、ワークシートに記入させる。 ○各班でリーダーを決めさせ、リーダーに炭酸水の生成方法を演示し、他の班員は実験の準備をさせる。	圧力ポンプ 圧力容器 風船 マシュマロ フラスコ スタンド 重曹 クエン酸

	を観察し、試飲する。 5. 炭酸水生成を利用して、オリジナルな炭酸ジュースを作る。 ●生成した炭酸水とジュースを混ぜて、オリジナルな炭酸ジュースを作る。	○各班のリーダーの指示のもと、実験を進める。炭酸水が生成した際には、試飲させて確かめさせても良い。 ○炭酸水とジュースを混合させた後に、ジュースを直接加圧して炭酸ジュースを作らせても良い。牛乳やコーヒーといったものも準備しておく、面白い。	ジュース
まとめ	6. 圧力についてまとめる。 ●圧力の性質について、炭酸水の生成などについて、自分なりに理解したことをまとめる。	○炭酸水以外にも、身近なところで圧力が利用されていることを紹介する。 ○圧力についてのまとめをする。	

2. 授業実践後のアンケート結果について

授業実践後に受講した中学生（n=11）を対象に、授業に関するアンケート調査を行った。調査項目は以下の通りである。結果は下図に示す。

- 圧力容器（透明ビン）は使いやすかったですか。（図 15）
- 圧力ポンプ（自転車タイヤ用空気入れ）は使いやすかったですか。（図 16）
- グループで協力して実験に取り組みましたか。（図 17）
- この授業を通して、気圧についての理解は深まりましたか。（図 18）

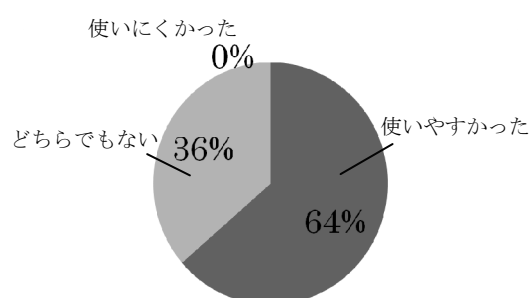


図 15 圧力容器は使いやすかったか

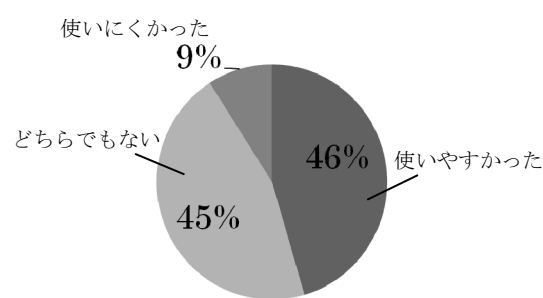


図 16 圧力ポンプは使いやすかったか

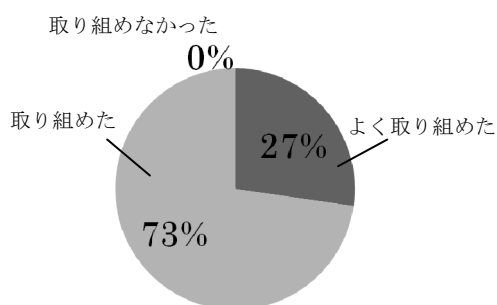


図 17 グループで協力して取り組めたか

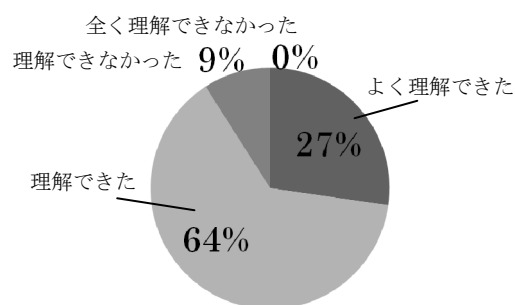


図 18 炭酸水の作り方は理解できたか

3. 考察

アンケート調査の結果より、生徒は圧力に関する理解が深まったと考えられる。これは、開発した実験機を使用して圧力に関する実験を幾らか行ったことにより、実感を伴って学習することができたためと考えられる。また、アンケート結果図 17 より、本実験はグループで協力して活動できるものとなっていると考えられる。本実験は、現象の観察者に加えて圧力ポンプを使用する者、圧力容器を振る者、薬品を準備する者など、実験における協力者を必要とする教材になっているといえる。

しかしながら、教育実践より本実験及び開発した実験機について改善点が挙げられる。特に改善すべき点として、圧力ポンプの強度である。今回行った実践では、多数用意されていた圧力ポンプのほとんどが途中で故障してしまった。この原因については、ピストン先端部分に取り付けられたゴム栓がシリンダー内ではずれてしまい、シリンダー内の気体を十分に排気することができなくなってしまったからである。今後は、ピストン部分の更なる改良が必要と考えられる。

IV. おわりに

これまで中学校理科における圧力分野の実験では、減圧実験のみが行われてきたが、今回、加圧実験を取り入れることで圧力に対する理解が深まると考えられる。授業実践後の感想のなかに、「気圧を使ってこんな事ができるなんて知らなかったし、楽しかったです。」という回答があった。身近に使われている圧力だが、生徒の多くはその存在や利用方法については気付いていないということがわかった。今回の授業実践では、開発した圧力実験装置に幾つかの課題も見つかった。これらについては、今後教材として発展させていく上で改善していく必要がある。炭酸水の生成については、身の周りで利用されている圧力について実験として取り上げたものであるが、他にも沢山のものに圧力が利用されている。それらについても取り上げて、今後も圧力に関する実験の開発を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 文部科学省、「中学校学習指導要領解説 理科編」、平成 20 年 7 月
- 2) 村田憲治、「お手軽真空ポンプ」、<http://physics.atnifty.com/pdf/010605.pdf> (2012 年 5 月 7 日アクセス)
- 3) 田中岳彦、「高校教育に取り入れる高圧科学の試み」、高圧の科学と技術、17(3)、245-250、2007
- 4) 下澤秀夫、「簡易真空ポンプの製作と活用」、理科の教育、49(5)、332-335、2000