

## 水素の燃焼性と爆発性

水素だけでは燃えない 酸素があると燃える 酸素が混ざると爆発する

早稲田摂陵中学校・高等学校 塚平 恒雄, 道家 瑞穂 ケニス株式会社 企画部 商品開発 若松 巧倫



図1 実験「エンゼルリング」<sup>1)</sup> 頭の上に、大小2種類のプラスチック製ペトリ皿の底を2段に重ねてのせ、その上に60mLの水素爆鳴気のシャボン玉をつくり、点火・爆発させてみた。大きい爆発音と火の玉ができるが、火傷をすることも髪の毛が燃えることもない。エネルギーは、使い方を間違えると何の仕事もしてくれないことを教えてくれる実験である。60mLの水素爆鳴気のエネルギーは288Jであるが、仕事率は17,280W以上にもなる。

### 1. はじめに

未来のエネルギー源として期待されている水素、しかしそのイメージは「爆発する危険な気体」…理由の1つとして、理科の教師が爆発事故を未然に防ぐために水素の爆発性を必要以上に強調したことがあげられる。その一方で「青少年のための科学の祭典」などでは「水素爆鳴気の爆発実験ショー」が大人気を博している。どちらも「水素は爆発する気体」なのである。しかし、水素は、家庭で使っている天然ガスと同じで、酸素がなければ燃えることも爆発することもない。ここでは、水素を用いた「水素爆鳴気」を教育現場で扱う実験を紹介したい。

「水素爆鳴気」とは水素と酸素の混合気体のことであり、点火すると大きな爆発音を発することからその名称がつけられた。本研究では「ブタン+酸素」、「ブタン+水素+酸素」の混合気体も爆鳴気として扱っており、どれも爆発音が大きいので実験をする人は耳栓をする必要がある。また、爆発実験の直前には生徒たちに「両手で耳を塞ぐように」と呼びかけなければならない。

### 2. 研究の目的

本研究は、水素を正しく理解するために、以下の実験方法とそれぞれの装置の開発を目的とした。

- (1) 水素だけでは燃えることも爆発することもないことを証明する実験方法
- (2) 水素は酸素があれば燃えることを証明する実験方法
- (3) 爆鳴気を安全に爆発させる方法
- (4) 水素と酸素を体積比「2:1」に正確に調合する方法

### 3. 開発のコンセプト

水素を扱う実験では常に爆発の危険が伴う。したがって、爆発しても事故につながらない対策をとる必要がある。その根幹となった開発のコンセプトは以下のとおりである。

#### (1) 水素の発生実験と切り離す

教育現場での水素の爆発事故の多くは、水素の発生実験中または終了後に起きている。したがって、本実験は水素の発生実験とは切り離して行い、水素は実験用ボンベから供給する。

#### (2) ガラス器具は使わない

爆発時の負傷事故の多くが爆発時に飛散したガラス片によることから、ガラス器具は使わない。

#### (3) 爆鳴気は正確に調合する

過不足なく反応する水素と酸素の体積比は「2:1」である。この比率で正確に爆鳴気を調合できれば、最大の仕事率が得られ、1回の実験に使う爆鳴気の体積を小さくできる。

#### (4) 気体はシャボン玉に閉じ込める

爆鳴気をビニール袋に入れ爆発させる方法も知られているが、ビニール袋は破裂音がするので爆鳴気の爆発音だけを聞いているとはいえない。そこで、破裂音のしないシャボン玉を用いる。

### 4. ディスポーザブル注射器を用いた調合

ボンベから気体を正確にはかりとり調合する方法として、目盛りが120mLまでついているプラスチック製ディスポーザブル注射器を用いることにした。注射器に水素を80mL、酸素を40mLとり、120mLの爆鳴気をつくる。この120mLは一連の爆発実験で使用する量である。気体を注射器にとるときは、ノズルをボンベに取り付け、ノズルと注射器をゴム管で接続する。こうすることで、ノズルを押す指先の力加減で1mL単位の正確さで気体をとることができる(図2)。なお、爆鳴気の入っている注射器を使用していないときは、必ずその先端を水につけて



図2 ディスポーザブル注射器を用いた調合  
1mL単位の正確さで気体を取ることができる。

おくようにする。

### 5. 割れにくいシャボン玉

本研究の重要な鍵となったものが、気体を閉じ込めるための「割れにくいシャボン玉」の開発であった。わたしたちの開発した「割れにくいシャボン玉」液のつくり方を以下に記す。

- ① 水40mLにメープルシロップ40gを加え、加熱して完全に溶かす。
- ② 台所用洗剤10mLを加えてかき混ぜる。

なお、「割れにくいシャボン玉」と言っても乾燥しているものに触れると簡単に割れるので、シャボン玉をつくる場所は直前に水にぬらす必要がある。

### 6. シャボン玉飛んだ! 漂った! 爆発した! <sup>2)</sup>

余分なシャボン液を取り除くため、シャボン玉をペットボトルのキャップの上につくる。シャボン玉をのせたペットボトルを頭上から勢いよく振り下ろし、シャボン玉を飛ばす。シャボン玉は浮きも沈みもせず空中を漂い続け(図3)、横から火を近づける



図3 「ブタン8mL+水素40mL+酸素72mL」で混合した爆鳴気の10mLのシャボン玉 浮きも沈みもしないで空中を漂う。

と爆発した。この実験がうまくいくのは、「ブタン 8mL + 水素 40mL + 酸素 72mL」で混合した爆鳴気（見かけの分子量 23.7）では 10mL のシャボン玉、「ブタン 9mL + 水素 35mL + 酸素 76mL」で混合した爆鳴気（同 25.2）では 20mL のシャボン玉、「ブタン 10mL + 水素 30mL + 酸素 80mL」で混合した爆鳴気（同 26.9）では 40mL のシャボン玉を用いたときである。

当初は「水素 20mL + 酸素 100mL」の混合気体（見かけの分子量 27.0）の 40mL のシャボン玉を飛ばしていたが、爆鳴気としての迫力に欠けた。そこで、市販のカセットボンベのボタン（ $C_4H_{10}$  = 58）を混ぜることを考えた。幸いしたのは、実験用ボンベのノズルがカセットボンベにも使用できたことだった。

## 7. シャボン玉爆鳴器<sup>3)</sup>

図 4、図 5 に示すのは、「水素だけでは燃えない・爆発もしない」、「水素に酸素が混ざると爆発する」を証明するための実験装置「シャボン玉爆鳴器」である。これはアルミニウムを削ってつくった装置であり、3つの段差があり、中央に点火用の圧電素子の先端が備わっている。最上段の上にシャボン玉をつくり、最下段はプラスチックコップ・紙コップを被せる段であるが、被せる際にコップがシャボン玉に触れないように目安になるのが真ん中の段である。

当初は市販されている 7 オンスのコップに合わせて爆鳴気 40mL の装置（直径 8cm）を開発していたが、1 オンスのコップの存在を知り、1 オンスコップ用の装置（直径 5cm）をつくってみた。結果は、爆鳴気の体積を 10mL と小さくできたことで、逆に爆鳴気の破壊力の大きさを強調することになった。



図 4 7 オンスと 1 オンスのコップに合わせた「シャボン玉爆鳴器」 7 オンスコップ用の「シャボン玉爆鳴気実験セット（ベークライト製）」がケニス株式会社より販売されている<sup>4)</sup>。

この「シャボン玉爆鳴器」を用いて、以下の実験を中学生・高校生に演示した。

### (1) 水素だけでは燃えない・爆発もしない

「シャボン玉爆鳴器」の上に 10mL の水素だけのシャボン玉をつくり（図 5）、生徒たちに「大きな音がするから、しっかり耳を塞いでね」と呼びかける。そして一緒に秒読みをして点火。「??? あれ、失敗?」と困った顔を見せると生徒たちから笑いが出る。しかし、外から火を付けると軽い爆発が起こり、生徒の笑顔が消える。

### (2) ロケット発射

「水素が燃えると水ができます…水の化学式は  $H_2O$  で…水素が 2 で酸素が 1…つまり、水素 80mL に対して、酸素は…その半分の 40mL 混ぜた気体が一番爆発力の大きな気体です」と説明しながら注射器に水素と酸素をとる。そして、10mL のシャボン玉を「シャボン玉爆鳴器」の上につくる。「この気体はある物の燃料に使われています…H-II B ロケットです。それでは、実際にロケットを飛ばしてみたいと思います…これがロケットです」と言って、1 オンスのプラスチックコップを取り出し、シャボン玉に被せる。「一緒に秒読みをしましょう。5, 4, 3, 2, 1, 発射。」爆発音とともにコップは勢いよく飛び上がり、天井にはねかえって机にぶつかる。爆鳴気 10mL のエネルギーは 48J、ビデオを用いて仕事率を調べると、爆発は 1 コマ (1/60 秒) に収まっていることから 2,880W 以上と算出できる。

### (3) 紙コップロケットは?

「この爆発力の反作用を利用してロケットは飛んでいるのですよ。それでは、今度は紙コップをロケットにしてみます。紙コップはどうなるでしょうか?…5, 4, 3, 2, 1, 発射。」紙コッ



図 5 シャボン玉爆鳴器 気体をシャボン玉に閉じ込め圧電素子で点火する。

プはバラバラに吹き飛んだ。実は、紙コップを 3 時間以上前から水につけておくことで、破れやすくなり、バラバラに吹き飛ばすことができたのである。

## 8. 実験「エンゼルリング」

「こんどは紙コップの上で爆発させてみます。シャボン玉の大きさは、これまでの 4 倍の 40mL です。紙コップはどうなるでしょうか?」

底を上にして置いた紙コップに水素爆鳴気シャボン玉をつくる。秒読みをして点火。10mL のときよりも大きな爆発音があるが、紙コップには何の変化も起きない。それを踏まえて「エネルギーは使い方を間違えると何の仕事もしてくれない」と説明し、「エネルギーを逃がさないように上手に使う方法」、言い換えれば「省エネ」の大切さを訴える。

そして、「紙コップに何の変化もないということ…頭の上で爆発させても大丈夫ということになるね」と切り出し、いよいよ実験「エンゼルリング」(図 1)を紹介する。頭の上に 2 段に重ねてのせたプラスチック製ペトリ皿の上に 60mL の爆鳴気シャボン玉をつくり、点火・爆発させるが、火傷することも髪の毛が燃えることもない。もちろん、希望する生徒に挑戦してもらうことも可能であるが、次の 3 つの注意が必要である。① 両手で耳を塞ぐ ② 髪の毛を寝かせる ③ 実験中は動かない。

## 9. 水素燃焼器<sup>5)</sup>

缶のふたを取っ手の部分も含めて平らにしたもので、中央に直径 4mm の穴を開けただけの装置である。取っ手を試験管ばさみではさみ、それを手で持って、ふたの上に直径 8cm ほどの水素のシャボン玉

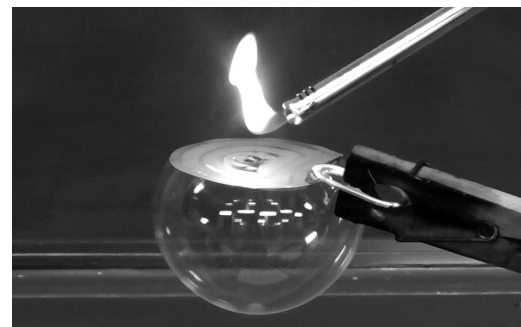


図 6 水素燃焼器 缶のふたの穴に火をつけても爆発しない。水素は、ただ燃えるだけである。

をつくる。ふたをひっくり返してシャボン玉を下に向け、「それでは、ふたの穴に火をつけます。シャボン玉はどうなるでしょうか?」結果は図 6 のように、水素は「ただ燃える」だけである。

水素の燃焼性について、① 水素だけでは燃えない ② 酸素があると燃える ③ 酸素が混ざると爆発する、この 3 つの違いを実験して生徒に見せてほしい…今年の 1 月に大阪科学技術センターから入った出前授業の依頼である。すでに実験方法も装置も完成していたが、「② 酸素があると燃える」を証明する「水素燃焼器」は、ただ燃えるだけのつまらないものだった。しかし、センターの依頼を受けて再検討した結果、生徒にとっては「!」「?」の新発見になることに気づいた。また、この実験を最初に見せることで大きな成果が得られることもわかった。

## 10. おわりに

教育現場で水素を扱うにあたり、絶対に忘れてはいけない事故がある。2011 年 3 月 12 ~ 15 日に発生した福島第一原発 1・3・4 号機の水素爆発事故である。この事故は、空焚きの压力容器内で、燃料被覆管に使われているジルコニウムが水蒸気を還元し、発生した水素が原子炉建屋内で空気中の酸素と混ざり、爆発したと考えられている。建屋の壁は厚さ 1m の鉄筋コンクリートで、ジェット機が突っ込んでも壊れない構造であると聞いていただけに、この事故は「水素による大きなエネルギーは、適切に扱わなければならない」ということを教えてくれる。

一方で、『Newton』2015 年 2 月号には、燃料電池自動車「MIRAI」(トヨタ自動車)の話を中心に、水素社会の未来が描かれている<sup>6)</sup>。年間を通して晴れている海洋上でソーラー発電を行い、その電力を使って水を分解、発生した水素を国内に運んで使うという。電力より輸送・貯蔵しやすく、化石燃料よりクリーンである水素をエネルギー源とする社会…水素のつくる未来は明るい。

### 参考資料

- 1), 2), 3), 5) Crazy Clever Science - YouTube (<https://www.youtube.com/channel/UCooAQeN20N1RZD4DVAB0oSQ> 2017 年 8 月 23 日閲覧)
- 4) ケニス株式会社「シャボン玉爆鳴気実験セット」
- 6) トヨタ自動車株式会社「ほか「水素社会の到来」『Newton』2015 年 2 月号, 24 - 57 頁