



# 科学の甲子園ジュニア 全国大会

## 実技競技②「ヘリウム飛行船」

⌘ 解説と競技課題のねらい ⌘

## 1. はじめに

事前公開資料では冒頭の一節で、読者となる第2回科学の甲子園ジュニア全国大会の参加選手に向け、次のような言葉を記した。

『ヘリウム飛行船づくりの入り口は、プロペラ付きのモーターを取り付けた上で「浮きも沈みもしない、空中で静止するバルーン」の製作である。そこにリード線につながっている手回し発電機を用いてプロペラを回転させたら何が起こるだろう……。きっと予想通りの現象と予想外の現象が君たちを待っているだろう。是非、自ら作った飛行船を動かすと飛行船にどんな現象が起こるのか確かめつつ試作を重ね、上下左右前後と自在に操ることのできる自分たちのオリジナル飛行船をつくってほしい。』

科学の甲子園ジュニア競技開発関係者はすでに「予想通りの現象と予想外の現象」に出くわし、その面白さや不思議さを体験したことがきっかけとなり、この競技が誕生した。

競技のテーマは「前後・左右・上下」と自在に操れる飛行船づくり。与えられる動力は2つまでだが、バルーンの個数は4つ全てを使っても構わないし、3つ、あるいは2つでもテーマにかなう飛行船の製作は可能であろう。また、バルーンの数や配置に従って、効果的な動力の取り付け位置や角度も変わってくる。つまり、飛行船の正解モデルは1つとは限らない。こうした点が、この競技の面白さであり、奥深さなのではないかと考えている。

本紙では、この実技競技を共有した第2回科学の甲子園ジュニア全国大会の参加選手に加えて、大会終了後に興味を持ちこの競技に関する問題や解説などを目にする中学生に向けて解説する。その意味も含め、本紙ではこの競技の「正解」を解説して読者の理解を深めるのではなく、この競技に取り組むことの面白さや味わいを深めることをテーマの中心に据えて記述したいと思う。

## 2. 飛行船の魅力

### (1) 空にあこがれる夢と実現

飛行機やロケット開発の原動力は「空にあこがれる夢」だろう。人類がその長い歴史の中でかなえられなかった夢は、約110年前にライト兄弟がはじめて飛行機で大西洋を渡り、約45年前にアームストロング船長が月面上を歩くなど、近代になり、急速に果たすことができるようになった。歴史をふり返ると、この100年間での飛行機やロケット開発は目覚ましい勢いだった。しかし、その裏側では、成果を実現するために必要な技術革新があり、その裏側に、多くの人々が抱いた空にあこがれる夢と、努力や工夫、それをまとめ上げる取り組みの積み重ねの結果、実現できることも進歩を続けてきた。やはり、進歩や偉業のスタートには夢があるといえる。

### (2) 飛行船の歴史

人類にとって「空にあこがれる夢」の実現は飛行船によってかなえられた。実は、飛行船の初飛行は、ライト兄弟による飛行機の初飛行（1903年）よりも半世紀早い1852年であった。その年は日本ではペリーによる黒船来航（1853年）の前年にあたる。

その後、飛行機が初飛行する20世紀初頭頃には、フランス、ドイツなどで次々と軍用の硬式飛行船が開発され、1911年にはドイツ国内の民間航路で運航が開始された。

しかし、飛行機の性能向上に反して大型の硬式飛行船の相次ぐ事故（当時はヘリウムガスではなく爆発しやすい水素ガスを使っていた）のためその安全性・信頼性が失われ、その輸送機関としての役割を飛行機に譲ることになる。

#### ・硬式飛行船：

軽金属や木材などで頑丈な骨組みを作り、それに羽布や金属などの外皮を貼り、複数の気嚢をその内部に収納する構造。船体強度が高くなるため大型化、高速飛行が可能。しかし、強風や荒天に耐え切れるほどではなく、悪天候による事故も多発し、飛行機の進歩により大型飛行船の存在意義自体が消滅したため、現代では生産・運用はされていない。

#### ・軟式飛行船：

骨組みをつくらず、浮揚のための気体を詰め、その気体自身の圧力で船体の形を維持する構造。現代の飛行船はほとんどがこのタイプ。しかし、気体の圧力が弱まると船体を維持できないことや、突風などによる船体の変形でコントロールを失うなどの欠点もある。また船体の剛性が確保できないため大型化に適しないとも言われている。

### 3. 実技競技「ヘリウム飛行船」に関連する科学的な背景

#### (1) 浮力

バルーン（風船）にヘリウムガスを入れ膨らませると、浮き上がるのはどうしてだろうか。バルーンに空気を吹き込んで膨らませても浮き上がることはないが、ヘリウムガスの場合にはバルーンを持ち上げる力がはたらいっているのだろうか。

ここで大切なのは、中学1年で学習する「水中での浮力」と同じ現象が空気中で、膨らませた風船についても起こる点である。水中での浮力は「水中に入れた物体にはたらく浮力＝その物体によっておしのけられる水の重さ」（アルキメデスの原理）であらわすことができ、たとえばこの説明の中で「水」を「海水」、もしくは「空気」と変えても、この原理は成り立つ。

私たちは大きな、重い鉄製の船でさえ海に浮かぶことができることを知っているし、私たち自身、プールに入って、水にまかせて静かにしていると水中に浮かぶことができる。さらに、海水の場合には、プールに入るとき以上に浮かびやすいということは、海水の方が密度が大きいため、身体が押しのける海水（と水）の体積は同じでも、押しのけられる海水の重さ（＝浮力）が水の場合に比べて大きいことから説明できる。

さて、空気中で、異なる気体を用いて、同じ体積に膨らませたバルーンについては、その浮力は同じだが、その中の気体の質量がヘリウムガスのように空気に比べて格段に小さいと\*1、バルーン自身の質量とヘリウムガスの質量による下向きの力より浮力がまさり、バルーンは上に浮かんでいくことができる。

(\*1 1気圧 [101.3kPa], 気温 15℃のとき, 空気密度 1.23g/L ヘリウムガス密度 0.17g/L)

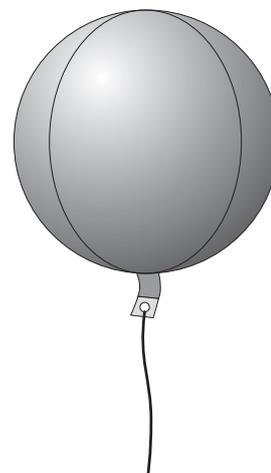


図1

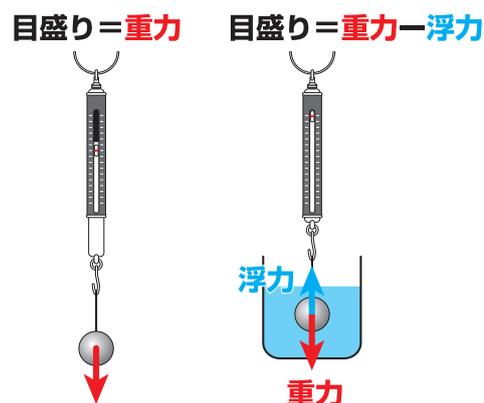


図2

物体にはたらく浮力は、水中、あるいは空気中にある静止状態の物体に、重力とは逆の方向に作用する力であり、もう少し定量的には以下のように整理できる。

●水中の物体にはたらく浮力とは？

- その物体が押しのけている水の重さと等しい大きさの力が上向きにはたらく。  
 (水中の物体にはたらく力の大きさ)  
 = (その物体の浮力) - (その物体の重さ)  
 = (その物体が押しのけている水の重さ) - (その物体の重さ)  
 = (その物体の水中での体積 [cm<sup>3</sup>] × (水 1 cm<sup>3</sup> の重さ)) - (その物体の重さ)

●空気中の物体にはたらく浮力とは？

→ その物体が押しつけている空気の重さと等しい大きさの力が上向きにはたらく。

(空気中の物体にはたらく力の大きさ)

= (その物体の浮力) - (その物体の重さ)

= (その物体が押しつけている空気の重さ) - (その物体の重さ)

= (その物体の空気中での体積 [L]) × (空気 1 L の重さ) - (その物体の重さ)

1 気圧, 気温 15℃ の理想状態の場合, 空気中で 1 L のヘリウムガスが浮き上がる力を [g 重] 単位で考えると,

(1 L のヘリウムガスにはたらく力の大きさ)

= (空気 1 L の重さ 1.23 [g 重] - (ヘリウムガス 1 L の重さ 0.17 [g 重]))

= 1.06 [g 重]

ヘリウムガスで膨らませたバルーンの場合はこれにバルーン自身の重さが加わる。

(2) 飛行船づくりの第 1 歩は「浮力と重力のバランス調整」

飛行船づくりの第 1 歩は「空中で静止する」こと。そのためには, まず, モーターを取り付けてもその重さを支えるに十分なヘリウムガスが充填された 1 個のバルーンにプロペラ付きのモーターを取り付けてみる。

バルーンの浮力が十分大きい場合, はじめは上向きと下向きの力のつり合いがとれず, バルーンは上に向かって動こうとするだろう。そこに, クリップなどのおもりを取り付け, 船体の重さとヘリウムガスの浮力が釣り合って「浮きも沈みもしない」バランスが調整できれば, 最もシンプルな飛行船の完成である。

(3) 重心と浮心

① 浮心

中学校では全く習わないが「浮心」という考え方がある。水に浮かぶ船が転覆する多くの場合は, 重心と浮心のバランスが崩れることによる。転覆しにくい船を作ることは人にとって重要なテーマといえるため, 古来から造船に携わる人々の間で「浮心」という考え方は, とても重視されてきた。

重心は, その船が浮かんでいても, 陸上にあっても変わらない。これに対して浮心とは, 水に浮かんでいるときに生じる浮力の中心となる点である。重力は重心から下向きにはたらく, 浮力は, 浮心から上向きにはたらく。

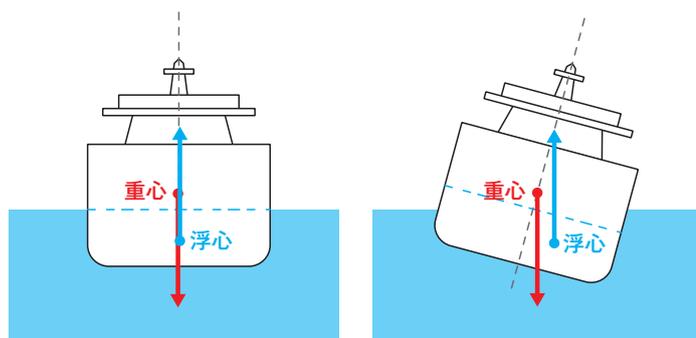


図 3

船が傾くとき, 静止しているときでは, 浮心の位置は変わる。また, 重心と浮心のずれを考えると, 船が傾いたときに復元力が生じる。この力の大きさを復元力という。重心が低く, 浮心が高い場合, 復元力は, 大きくなり, 船は安定する。逆に, 重心が高く, 浮心が低い場合, その船はとても転覆しやすくなる。

ここでは、詳しく述べずに終えるが、興味を持った諸君は是非自分で調べみることを薦める。

### ② 飛行船の重心と浮心

飛行船の設計や試作に携わると、この「浮心」にも注意する必要があることがわかる。1個のバルーンに動力（モーターとプロペラ）を取り付けるとき、その取り付け位置によって、重心も変わる。例えば、浮力調整が整って浮きも沈みもしないバルーンで、図4のようにモーターが上にある状態で手を離すと、上下逆転してモーターが下になる。これが水に浮かぶ船の場合「転覆」といえる現象だ。

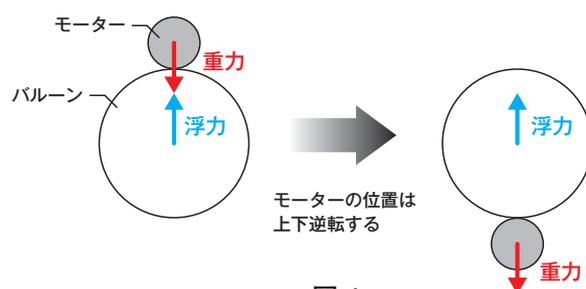


図4

重心と浮心（図中の矢印は、赤は重力、青は浮力を示す）

この場合、重心（モーター+風船の質量の中心）が浮心の上であり、結果として、飛行船全体のバランスが不安定となる。ここでモーターが上から下に位置を入れ替わると、重心と浮心の位置も逆転、安定した状態になる。

飛行船の姿勢を安定させるための第2の要素は、重心と浮心のバランスを意図したバルーンと動力の配置となる。

### ③ 飛行船の進行方向に対す姿勢の重要性

「重心と浮心」は飛行船内の上下方向のバランスに影響するが、この調整とは別に飛行船の前後方向のバランスにも配慮が必要となる。すなわち、重心の位置は飛行船の進行方向に対する姿勢に影響し、その結果飛行船の動きも変わるからだ（図5）。

飛行船の前後のバランスが均等な場合、飛行船は静止状態で水

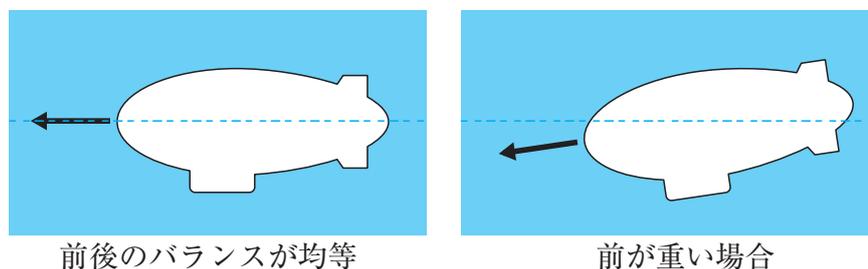


図5

平姿勢をとることができる。この状態でプロペラを回転させると飛行船は水平に動く。もし、飛行船前方が重く下がっている状態で、プロペラの回転させて前方方向に進む力が加わると、飛行船は前方に進むだけでなく、飛行船の高度が低下していくことになる。逆に、飛行船前方が上がっている状態では高度は上昇してゆく。

飛行船が飛行を続けるためには、ある高度を保ち続ける必要がある。このため、進行方向に対する姿勢を整えることは、飛行船の設計上重要な要素となる。

(4) 飛行船の動作性能向上のための工夫

① 動力1個の場合の問題点

静止状態で、上下・水平方向にバランスのとれた飛行船に、動力を1個取り付けた場合を考えてみよう。

発電機の操作により順方向と逆方向を操作することができるため、飛行船を前・後の2方向に動作させることができる。しかし、左右・上下方向に動かすことは難しい。

さらに、バルーンの浮心の位置に動力を取り付けることは難しいため、プロペラの推進力はバルーンに回転運動を与える効果も生じる。このため、飛行船の動作を安定させることは極めて難しい。

特に、バルーン1個に動力1個を配置した飛行船は、図6のような興味深い動作を観察できる。

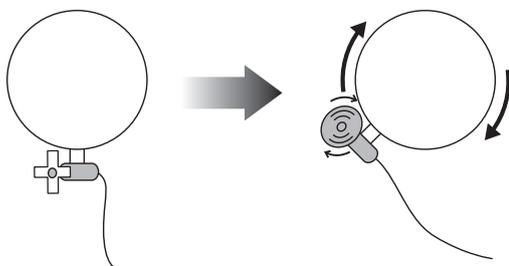


図6

動力1個を複数のバルーンに取り付けて飛行船をつくる場合は、配置により図6のような前後回転が起こらないこともある。それがどのような場合か、また前後の回転が起こらないとき、飛行船はどんな動作になるか実際に確かめてみるとよいだろう。

② 「自由自在に」動かすために動力を増やしてみる

高度を保ったまま、左右への進行方向を自由自在に操れる飛行船をつくるためには、動力が2つあれば実現可能である。

図7のように、飛行船の左右に配置した2つのプロペラをそれぞれA・Bとする。発電機の回転方向で時計回りを正回転、反時計回りを逆回転と決め、正回転の場合に前進方向に推進力を得ると仮定して飛行船の動作を以下にまとめる。

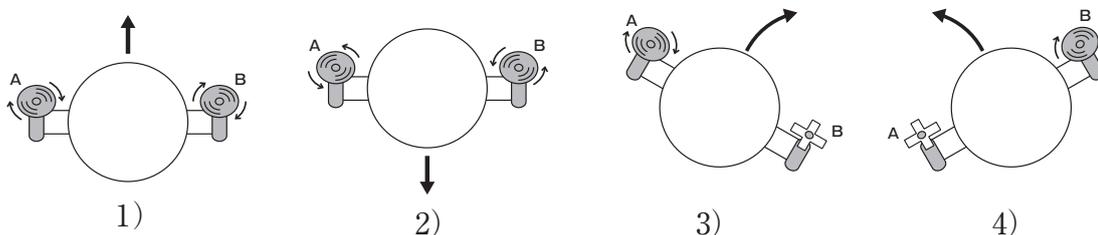


図7 (飛行船を上から見た図)

- 1) 前進する場合・・・(A：正回転， B：正回転)
- 2) 後進する場合・・・(A：逆回転， B：逆回転)
- 3) 右に曲がる場合・・・(A：正回転， B：静 止) または (A：正回転， B：逆回転)
- 4) 左に曲がる場合・・・(A：静 止， B：正回転) または (A：逆回転， B：正回転)

「慣性の法則（運動の第1法則）」は、中学3年生で学習する内容で、静止している物体に力がはたらかなければその場で静止し続けようとし、運動している物体は力を加えない限りその状態のまま動き続けようとする性質をあらわしている。さらに、物体の質量と、はたらいた力の大きさに応じて物体の運動速度が定まることを、ニュートンは「運動の第2法則」で示している。

図7の1)～4)の動きについて科学的な理解を深めるためには、この2つの法則はとも便利なので、興味を持った方は調べてみることをお勧めする。

ブルドーザーも左右2本のキャタピラを動かすことで自在に動作するが、原理としては上の考え方と同じである。もちろん、論理的にはこの通りだが、実際はABの回転力の差等によって、予想通りの運動にならないこともあるかもしれない。しかし、操縦の特性を十分に理解していると細かい調整を実現することもできる。

そして、ここにもう1つ加え動力を3つにすると、前後、左右に加えて上下方向に推進力を得ることができるようになるので、前後・左右・上下を「自由自在」に動作する飛行船をつくるのが可能になる。

### ③ 動力2個で、前後・左右・上下を「自由自在に」動かすために求められる工夫

ここからがこの実技競技の中心課題といえる内容である。今回の実技競技では、事前公開時に飛行船に取り付ける動力を2個と指定した。ここまでの考え方だけでは、動力2個のみで「前後・左右」方向など2つの方向軸での動作は可能だが、3方向を「自由自在に」操るには無理がある。これまで不可能とされたことを可能にする発想や技術を「ブレイクスルー」というが、この競技では、「これまでの考え方では実現できないこと」を補う発想力や技術が必要になる。

この解説書の冒頭でも記述したことだが、ここから記すことは科学の甲子園ジュニア全国大会にむけて飛行船の試作を重ねた体験がある選手の諸君と、こうした競技に興味を持った中学生の両者に向けて記すことを念頭に置いている。このため「ブレイクスルー」を実現するための方法を記すのは適当ではないと考えて、ここでは、その方法を発見するためのヒントについて記そうと思う。

#### 1) 体験を通して知識を自分のものにする

まず、この競技に向けて飛行船の試作に取り組み始めると、おそらく多くの場合は初期につくった飛行船は思うように動いてくれず、未経験のものづくりは簡単にいかない。この背景には、これまでに述べた「重心（や浮心）」、「慣性の法則」は、知識として自分の中に持ち合わせていても、実際に必要となる場面で活用することは容易ではないからだろう。

#### 2) 不思議さの裏側にある「課題」を見いだすことの重要性

試作を重ね、作り上げた飛行船を実際に動かしてみると、「予想通りの結果と予想外の結果」が待ち受けている。「予想通りの結果」は自分の仮説や考え方の正しさを裏付けてくれる。また、「予想外の結果」は不思議さや困惑をもたらすことになる。

## 実技競技②

学校の理科の授業で「予想外」の現象を見た時は、「不思議!!」で終わってもよいのだが、もし飛行船が「予想外」の動作をすると、「自在」には操れず、解決すべき課題として諸君の開発の道をふさぐことになる。なぜ、予想外の動作が起こるか意味不明では、何も対応できないからだ。

しかし、事実や現象の背景には必ず原因と結果が潜んでいる。このため気になる現象や予想外の結果が目にある場合、まずよく観察し、そこで起こっている現象を読み解く意識が大切である。読み解けない場合は、たくさんの試行錯誤を繰り返して、飛行船の動きを観察し続けてみるとよいだろう。改善すべき「課題」を発見するカギは、実際の物体や現象の中に潜んでいるのだ。

もしあなたが、「カギ」となる現象を見いだせれば、その課題はほぼ解決できたものともいえる。何故ならば、課題を見いだすことができれば、その対策を考えたり、対応が可能になるからである。

ここで、解決できない多くの課題は「何が問題なのか分からない」に起因することを強調しておきたい。「自在に操れる飛行船をつくりたい」と願い、「なぜうまくいかないのか」と自問しつつ試作を重ねることで、見えなかった課題が一つずつ見えてくるだろう。特に、見た目は些細なことかもしれないが、自分が気になることに課題発見や解決の糸口が潜んでいることは多いものである。

#### 4. 競技開発秘話

##### (1) 空中浮沈子はつukれないだろうか

浮沈子をつくったことがあるだろうか。ペットボトルなどに水を充填して、ボトルに力を加えて押しつぶしたりその力を弱めたりすることで、中にあるものが浮いたり沈んだりする現象である。例えば、弁当に使う小さなしょうゆ入れに適度な水を入れ、これにおもりとなるナットを取り付け、浮力の調整をとることで浮いたり沈んだりする浮沈子をつくることができ、理科実験としてよく利用されるものである。その原理は、ここでは割愛するが、興味を持った人は調べてみて欲しい。

さて、一般的な浮沈子は水などの液体中で浮き沈みするが、ヘリウムガスを充填したバルーンを浮沈子のように、空気中で浮き沈みさせることはできないだろうか。バルーンが入る大きな容器を用意し、力を加えて中の空気圧を調整できるような装置をつくる。今回は、空中浮沈子づくりは、材料や装置の関係で持ち越しとなったが、理科実験の題材として十分魅力ある開発となった。

##### (2) 実技競技「ヘリウム飛行船」を可能にしたポイント

今回の実技競技問題は、工作力を試し、競技性を持つ企画として検討してきた。時間や距離を競い、それで順位をつける競技は少なくないが、中学生を対象とした競技として難易度も考慮し、なじみの少ない「空気中での浮力」を利用した「ヘリウム飛行船」を考案した。

一方で、競技性をもたせるために飛行船に動力を与える必要があり、今回はバルーンで持ち上げる負担にならない超小型モーター（重量は約3g）を採用した。

加えて電源として手回し発電機を利用するため、その操作により、プロペラ回転の強弱、回転方向の反転が可能であり、飛行船を操作する上で、競技者が操作の工夫ができる点も特徴である。

##### (3) 難航した発電機とモーターのコンビネーション

「ヘリウム飛行船」の試作や競技開発を進める過程で、ごくたまにモーターの動きがおかしい状況が確認された。はじめは、何が起きているか分からなかった。しかし、そのうちモーターが完全に動かなくなる例が出てきた。この問題解決はかなり難航したのだが、ここでは読者のために小さな技術開発の経緯を示してみようと思う。

「何が起きているか分からない」状態とは、問題を解決できないことを意味している。このため、まず同じ状況を再現しようとしたが、なかなか再現できなかった。別の角度で調べてみた。動かなくなったモーターの分析だ。電流を流してみると、回転しない。しかし、モーターの軸を回してみると、通電するときがある。

調べるうちに悩みの種となったのは「モーターの焼き付き」だと判明した。これは、モーターに過剰な電流が流れることにより、モーター内のコイルやブラッシ状の整流子が加熱し破損する現象である。

超小型モーターは、携帯電話のバイブレーション機能を実現させるために開発が求められ誕生した。ちなみに全国大会の実技競技で使用したモーターは、携帯電話用ではなく、

その後汎用化されたものとして理化学機器メーカーが販売しているものだが、ネット販売などで誰でも入手可能である。本来超小型モーターは、軸におもりをつけて回転させることで振動＝バイブレーションを発生させることを目的に開発されている。飛行船の動力として競技開発当初は、事前公開資料に示したように、学研教育出版の「クロスコプター EX」という商品の動力部を利用した。ところが高出力・高回転させる設計になっておらず、時として過剰な電流が流れることが問題になった。その原因を調べるうちに、2つの状況が見えてきた。

1つめは、発電機を思い切り回しすぎる状況。

操縦してみると分かるのだが、ヘリウム飛行船の場合も、急に発電機を高速回転させて、プロペラの回転が急に速くなりすぎると、プロペラが空気をつかみ切れていない状態になり、あまり効果的ではない。このため、操縦に熟達するとうような操作を行わなくなる。

ところが、慣れていない操縦者の場合、当初無我夢中で発電機を思い切り回してモーターの焼き付きを起こす例があることも確認された。

元々搭載されていた「飛ばす」ことを目的とした玩具では、発電機を思い切り回すと飛びすぎてしまい、結果的にコントロール不能になるため、あまり過剰な発電を行うことを想定する必要はなかったのかもしれないが、飛行船の操縦の場合は、思わず回しすぎることも起こりうる。一方で、それほど過剰な発電を行っていない状況でも、モーターの焼き付きが起こることが確認されたのである。

そのケースは、見えにくい状況で発生することが分かった。それは、発電機の「逆回転」である。

飛行船の操縦では、推進力の向きを逆転させることで、動作をコントロールする必要があるため、かなり頻繁に「逆回転」を行う必要がある。実はこの、「逆回転」も過剰な電流が発生する原因の一つだった。

このため、科学の甲子園ジュニア事務局は、モーターの焼き付きを防ぐために以下3点の問題について対策を講じることになった。

- ① 焼き付きの起こりにくいモーターを使う
- ② モーターに流れる電流を抑えて、焼き付きを防ぐ
- ③ 飛行船を自在に動かすために必要なモーターの出力を確保する

その対策は次のようになった。

①については、入手可能なモーターのうち最も電気抵抗の大きいものを選んだ。これは、抵抗が大きいと整流子付近の他にも熱エネルギーが消費されることで、ブラッシの焼き付きが抑えられると考えたからである。

②③は相反する課題だ。②のためには、発電機とモーターの間に電気抵抗をはさんで、電流の制限をする必要がある。だが、電流を抑えすぎると③は実現できない。これを実現するには、モーターが焼き付きを起こす直前で電流が流れなくなる装置があればよい。一般的にはこれを「ヒューズ」という。しかし、はじめて動力キットを操作する人が発電してよい限度を瞬時に理解して使いこなすのは難しい。そこで、限度が目視できる豆電球をヒューズ代わりに使うことになった。

マイクロモーターの焼き付きを防ぐ豆電球の選定について、詳細は巻末に資料を添付

したので、興味ある方は参照のこと。

#### (4) 「浮きも沈みもしないバルーン」をつくってわかることー疑似無重力状態のおもしろさー

「浮きも沈みもしないバルーン」をつくってみると、ほんのわずかな力を加えたとき、それによる状況変化を観察することができる。例えば、弱い空気の流れや静電気の力といった、普段の生活では感じ取れないわずかな力も、空中に静止したバルーンにはたらくと、その動きから力の存在を確認することができる。これは、ある物体を無重力状態においたときの動きと似た状況とも考えられる。

また、バルーンの数が少ないときは、小さな推進力でも飛行船を機敏に動かすことができる。一方で同じ推進力の場合、バルーンを増やすと動作が鈍くなることを確認できる。物体に等しい大きさの力が加わったとき、質量の小さいものは動きやすく、質量の大きいものは動きにくい。

これは、運動の第1法則(慣性の法則)や第2法則に基づくものであり、飛行船の質量の大小は、その動きやすさや減速のしやすさといった飛行船の動作性能に影響を与えるのである。またこの観察は、空気に比べて密度が小さいヘリウムガスでも「質量」があることを明示できる事例ともいえる。

#### (5) 「やってみたらわかること」ー飛行船試作の操縦練習ー

今回の競技「ヘリウム飛行船」では、飛行船の設計と操縦は車の両輪のように密接な関係がある。ここでは関連して2つの興味深い事例を紹介しようと思う。

1点目は、次のような状況で観察することができる。飛行船のバランスを上下方向と水平方向に整えたとする。プロペラを回転させたとき、推進力の向きが水平方向になるように動力を取り付ける。このとき、飛行船の動く向きは水平方向となるはずだが、おおむね水平方向に進むものの、わずかに上下方向の力が発生することも多い。

2点目は、先ほどと同じ条件で飛行船を調整したとき、プロペラの回転する速度をいろいろ変えてみる。例えば、プロペラの回転する速度を徐々に速くしていくと飛行船の速度もそれに応じて加速するが、はじめからプロペラの回転する速度を急に速くしたとき、必ずしもそれに応じて飛行船の速度が加速しないことが確認できるはずだ。

1点目については、仮説として2つの要因に注目している。1つは流体力学でいう「はがれ」という現象。これは、航空力学の分野の専門用語であり、通常、飛行機が飛ぶとき、翼の上面・下面に沿って流れる気流が、翼の形状や気流の速度などによって、気流が翼から離れてしまうことがあり、この現象を「はがれ」という。「はがれ」が起こると、その空間は負圧になり飛行機は揚力を失うこともあるという。飛行船のバルーンとプロペラの回転によって起こる気流の生じ方によって、「はがれ」に類する現象が起こっているのではないかと推測する。

もう1つの要因として考えるのは「ジャイロ効果」である。プロペラが高速で回転すると「ジャイロ効果」によりプロペラは、その空間に居つづけようとする。しかし、推進力によって飛行船は進む。このとき、はじめは水平に保たれていた飛行船に、わずかな力がはたらいて、上下方向に向きを変えることになると、プロペラはもとの空間に位

置し続けようとするので、複数の力が複雑に影響を及ぼすことで、結果的に予期しにくい動きが起こるのではないかと考えている。

2点目については、空気の慣性や粘性などが影響しているのかもしれない。水上でボートを漕ぐとき、ボートの速度との兼ね合いで効果的なオールを動かす速さが決まる。静止したボートが動き出すときに、あまりにも速く動かしたときは水を無駄にかいて水を押しただけの反発力を得ることができないため、ボートの推進力を引き出すことができない。プロペラの場合も、あまりにも速く回転させたとき、空気を無駄にかき乱すだけで、空気からの反発力を得ることができないのではないだろうか。

これらは仮説の域を出ていない。しかし、あえてここに記述したのは、こうした現象に目を向ける価値を伝えたかったことに加えて、観察した現象に仮説を立てることから科学的なアプローチが始まり、その仮説を確かめる検証によって科学的な考え方は立証されることを確認しておきたかったのである。

## 5. おわりに

### (1) 本競技のねらい

- ・ 何気なく空に浮かんでいく風船。何気ない日常生活で接する現象に、科学的なセンスを磨く要素は含まれている。そうした日常的な現象を読み解くことで、この競技に関わる中学生の皆さんが物理学を正しく理解する一助になることを意識していることを最後に触れておきたい。
- ・ また、こつこつと立案・検討・試作・フィードバックを繰り返して、飛行船の完成を目指す。また、作り上げた飛行船の操縦練習を積み、チーム内での協調性を生かしてレースに臨む。科学技術に携わる研究者や技術者はまさにこうしたプロセスを日々繰り返している。全国大会の競技本番で結果を残すことは1度きりのチャンスだが、その過程で得たことが、今後の人生の一助になれば幸いである。

### (2) 飛行船や宇宙開発の現状と将来

近年、有人飛行船を運用例はごくわずかで、日本国内では、広告用に軟式飛行船1隻が運用されているのみ。一方で観測などの目的で無人のラジコン飛行船が広がりつつあるようだ。

空中で、小さな動力でも、長時間の活動が可能なのが飛行船の特性。これを十分に活用することができれば、飛行機やロケットにまさる活躍も可能となるだろう。

現在、アメリカで輸送用途に飛行船と飛行機の性能を併せ持ったハイブリッド飛行船の開発が進んでいる。災害救助や発展途上国援助などで十分な長さの滑走路が確保できない土地でも容易に離着陸ができ、たくさんの荷物を短時間に一度に輸送できるなど、飛行機と船との中間手段として期待されているからだ。また太陽電池を電源に無人飛行船を成層圏に長期間滞留させ、無線の基地局などに活用する研究も行われている。

いずれも実用化を阻んでいる要因は、この解説の冒頭で記したように、軟式飛行船は、気体の圧力が弱まると船体を維持できないことや、突風などによる船体の変形でコントロールを失うなどの欠点があること、船体の剛性が確保できないため大型化に適しない

こと、大型化できないと浮力が小さくなってしまうことなどである。

現状では、こうした課題が実用化を阻んでおり、解決を可能にするブレークスルーが求められているといえる。もし、本競技を通して飛行船に興味を持った諸君の中から、有効かつ実用的な飛行船の実現に向けた研究や設計・運用に携わる研究者や技術者が育つことを期待したい。

一方で宇宙開発の殆どは、国家事業として進めてきた経緯がある。そんな中で、すべて自腹で宇宙ロケット開発に取り組む北海道の小さな町工場がある。元々従業員17人のリサイクル用マグネットを扱う会社だが、2000年より自腹で宇宙開発を開始、現在も取り組み続けている。その結果、ロケット・人工衛星を自社生産できるようになり、世界に三カ所しかない無重力の実験設備も自作し保有している。アメリカの会社とも連携して、今後のロケットの開発にも関わることが決まっている。

この会社で大切にされていることは『「やったことがないことをやる」「あきらめない」「工夫をする」』この会社の人たちのキーワードは、「だったら、こうしてみたら」。書籍「NASAより宇宙に近い町工場」の著者でもあり、同社専務取締役の植松努氏は、次のように語る。

「どんなことがあっても、「だったら、こうしてみたら」と思える人たちが0から1を生み出す人たちになります。」

科学の甲子園ジュニア全国大会に参加した選手、あるいはこの競技に興味を持った方たちが、夢が実現できる大人になることねがい、解説を終えることにしたい。

<資料>マイクロモーターの焼き付きを防ぐ豆電球の選定について

動力キットを飛行船に搭載し、手回し発電機を使って過剰な発電を行うと、マイクロモーターが焼き付いてしまうことがわかった。競技中にモーターが焼き付いて、飛行船が動かなくなってしまうことを避けるための対策を講じることにした。

まず、焼き付きを防止するためには、回路に過剰な電流が流れないように工夫が必要と考えた。はじめ、ヒューズを用いるというアイデアが出された、飛行船を操作している最中に許容電流の大きさが実感できず、突然ヒューズが突然切れてしまうことが予想された。これに対して、豆電球の場合、回路に流れる電流のおよその大きさを豆電球の明るさによって実感できるため、ヒューズの代用として豆電球を利用することにした。

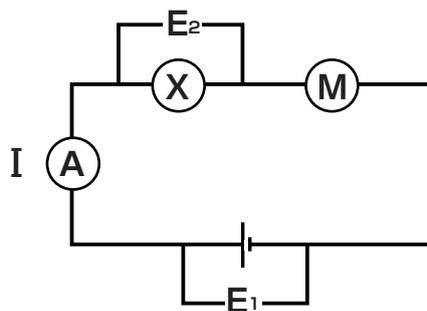
小さい電流で球切れが起こると、モーターの出力が不足してしまい、操作性が悪くなり、モーター許容範囲を超える電流で球切れを起こすようではヒューズの役割を果たさなくなってしまう。次の課題は、モーターが焼き付かない範囲ギリギリで球切れを起こす豆電球を探すことだった。

豆電球の仕様もさまざまあるが、10種類程の仕様を確認した結果、1の豆電球(2.5V-0.3A)では長時間使用するとモーターは焼き付くが、2の豆電球(2.2V-0.25A)ではモーターが焼き付く寸前に球切れを起こすことがわかった。

参考のため、実験で行った回路図とデータを以下に記載する

<回路>

直流電源装置に豆電球とマイクロモーターを直列に接続した下図のような回路で、電流と電圧を測定した。



<実験結果>

項目	内 容
E1	回路全体（電源装置）の電圧〔V〕（測定値）
E2	豆電球両端の電圧〔V〕（測定値）
E3	モーター両端の電圧〔V〕（※計算値 E1-E2）
%	モーター両端の電圧の割合〔%〕（E3/E1 × 100）
I	回路全体の電流〔mA〕
P	回路全体の電力〔mW〕
豆電球の明るさ	×：光らない ▲：かすかに光る △：暗く光る ○：光る ◎：輝く

## 1 豆電球 (2.5V-0.3A) の場合

E1 [V]	E2 [V]	E3 [V]	%	I [mA]	P [mW]	豆電球の明るさ
2.00	0.11	1.89	94.50	98	196	×
3.00	0.51	2.49	83.00	144	432	▲
4.00	1.00	3.00	75.00	182	728	△
5.00	1.50	3.50	70.00	218	1090	○
6.00	2.00	4.00	66.67	267	1602	○
7.00	2.60	4.40	62.86	310	2170	◎
8.00	3.30	4.70	58.75	354	2832	◎
8.50	3.70	4.80	56.47	373	3171	◎
9.00	4.20	4.80	53.33	394	3546	球切れ

(まとめ)

回路全体の電圧を9.0Vに保ち続け連続運転したところ、モーターの回転が徐々に遅くなってきた(焼きつきの兆候)。しばらく通電を続けたところ、豆電球が球切れとなった。このため、この豆電球よりも少し球切れしやすい仕様がよいことがわかった。

## 2 豆電球 (2.2V-0.25A) の場合

E1 [V]	E2 [V]	E3 [V]	%	I [mA]	P [mW]	豆電球の明るさ
2.00	0.17	1.83	91.50	105	210	×
3.00	0.60	2.40	80.00	145	435	▲
4.00	1.30	2.70	67.50	183	732	△
5.00	1.80	3.20	64.00	217	1085	○
6.00	2.30	3.70	61.67	249	1494	○
7.00	3.00	4.00	57.14	283	1981	◎
8.00	3.70	4.30	53.75	313	2504	◎
8.50	4.50	4.50	50.00	340	3060	◎
9.00>						球切れ

(まとめ)

電源装置の電圧を9Vより大きくすると、豆電球が球切れとなった。また、回路全体の電圧が8~9Vで30分程度の連続運転を行ってもモーターに異常は見られなかった。このため、この豆電球をヒューズ代わりに使用することにした。

<参考:競技用具の仕様>

- (1) マイクロモーター \*参考品番:アーテック008712  
(サイズ:本体/Φ6x12mm、軸部/Φ0.8x3.2mm)
- (2) 手回し発電機 \*参考品番:アーテック093459
- (3) 豆電球 (2.2V-0.25A) \*参考品番:ケニス1-124-052 ニップル球 2.2V 0.25A
- (4) バルーン \*参考品番:14インチ4/B (シルバー)
- (5) ヘリウムガスボンベ \*参考品番:バルーンタイム(小:120リットル)