

# ピストン式空気エンジンの研究・開発

－目指せ！世界最速の空気自転車－

福岡市立博多工業高等学校 自動車工学科 教諭 木戸 健人

## 1. はじめに

現在、自動車のエンジンのエネルギー源は石油を原料としたガソリンや軽油が主流である。しかし、地球温暖化対策や大気汚染対策で有害な排気ガスの排出を抑える対策を各メーカーが行っており、電気自動車や燃料電池自動車の開発に力が注がれている。

このような状況の中で私たちは有害な排気ガスを排出しないエンジンの開発に取り組むことにした。具体的には市販されているガソリンエンジンを基本構造とし、圧縮空気を動力源とする空気エンジンの研究と開発を行うこととした。

また、空気を原動力とする自動車の世界最高速記録は日本の企業が取得しており、その記録はギネス世界記録に登録されている。今回、開発を始めるにあたり「世界一に挑戦しよう」という声が上がリ、最終的には空気自転車における世界最高速記録（Fastest compressed air powered bicycle、申請の下限は時速 45.0 km）へ挑戦し、ギネス世界記録登録を目標とした。

## 2. 目的

本研究で開発する空気エンジンは市販されている自動二輪「ホンダ スーパーカブ」に搭載されるエンジンを改造して製作した。スーパーカブに搭載されるピストン式ガソリンエンジンをベースに空気エンジンを開発するためには、本校自動車工学科で学ぶ自動車工学、自動車整備、材料力学などの理解が必要となる。また、部品の加工には実習における機械加工の技術も必要となる。このように、本研究では空気バイ

クの研究と開発を通して、生徒たちに各分野の知識を高めさせるとともに、ものづくりに必要な創造力やアイデア創出力、問題解決能力の養成を目的とする。

## 3. 研究体制

開発におけるトライ&エラーを平行して行えるように車両を2台とし、1台につき4人体制の2グループとした。活動開始前のミーティングで活動計画を立て、一つ一つの作業に期限を設けた。計画にはガントチャートを用いた。作業の進捗状況をチーム全体で把握することを意識し、ひとつの作業がチーム全体に影響していることを可視化した。2チームに分かれて実施と検証を行った後に検証結果の比較と改善策の考察を行うというPDCAサイクルを繰り返すことで開発を進めていった。車両開発の方向性が見えてきた10月に、両チームの車両の優れている点をまとめて1台体制に切り替えた。また週3時間の課題研究の授業時間以外にも、放課後や休日にも研究開発を行った。

## 4. 研究過程

本研究は平成30年度から取り組んでいる。

### (1) 1年目（平成30年度）の活動内容と成果

自動車工学科で学んだピストン式ガソリンエンジンをベースとした空気エンジンを開発することに決め、基本的な構造から開発を始めた。これにより、開発する空気エンジンの方向性を見出すことができた。製作した空気エンジンを車両に搭載し、4.5 km/h で30 mを走行することができた。

(2) 2年目（令和元年度）の活動内容と成果

1年目に製作した空気エンジンの構造の見直しを行い、エンジンの性能が大幅に向上した。製作したエンジンを搭載した自動二輪で、最高速度61.4 km/hを達成した。また、第29回生徒研究発表会において最優秀賞を受賞した。

(3) 3年目（令和2年度）の活動内容と成果

2年目に製作した空気エンジンの課題解決と、ギネス世界記録への挑戦を行った。また、本校80周年記念式典での特別企画「ギネスへの挑戦 目指せ！世界最速の空気自転車」として発表しオンライン配信を行った。

## 5. 研究内容

### (1) 空気エンジンの開発

#### 1) カム形状の研究

バルブタイミングを最適化するためのカム形状の研究を行った。カム形状でエンジン性能が大きく左右するため精密な加工が必要になる。ガソリンエンジンを用いているため生徒はガソリンエンジンのカム形状を参考にカムを製作したが予想した結果を得ることはできなかった。形状を少しずつ変えて性能を比較することを繰り返したが試行するパターンが多くなったためカムの形状を数値化する必要が出てきた。そのためバルブ開閉のタイミングをクランクの角度で正確に測定して記録した。カム担当者は教科書、参考書やインターネットなどを使用して独自に流体力学を勉強した。最終的には空気やバルブの慣性による影響を考慮したタイミングのカムも試作できるまで技術力を高めた。

次に示すのはバルブタイミングを研究するにあたり予測される条件や検証すべき検討事項である。

#### ① 吸気バルブ開のタイミング

圧縮空気の慣性による圧のかかり始めの遅延も考え、BTDC 5°～ATDC 20°の間で最適値を模索した。（注1、注2）

#### ② 吸気バルブ閉のタイミング

膨張率を1～2倍のATDC 90°～ATDC 180°（BDC）の間で最適値を模索した。（注3）

#### ③ 排気バルブ開のタイミング

シリンダ内部流体の慣性を考慮し、ATDC 160°～ATDC 180°（BDC）の間で最適値を模索した。

#### ④ 排気バルブ閉のタイミング

吸気バルブ開のタイミングを考慮したTDC前後で製作した。（注4）

#### ⑤ 上死点におけるバルブオーバーラップ

空気エンジンには必要ないと判断した。バルブの慣性も考慮し、両バルブの開いていない区間を0°～10°確保するようにした。

（注1） BTDC：上死点前角度，（注2） ATDC：上死点后角度，（注3） BDC：下死点，（注4） TDC：上死点

以上を踏まえてカムの製作を行った。生徒が作成したダイヤグラム（図1）をもとに、加工しやすいSS400を旋盤で削りだし、熱処理後に卓上グラインダで成型した。写真は成型後のカム形状（図2）である。

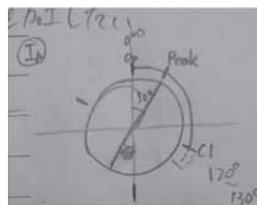


図1 ダイヤグラム 図2 成型後のカム形状

カム製作 ⇒ 速度計測 ⇒ 性能の検証と比較 ⇒ 考察しダイヤグラムを作成 を繰り返し、カム形状と最高速度のデータベースを作成した（図3）。

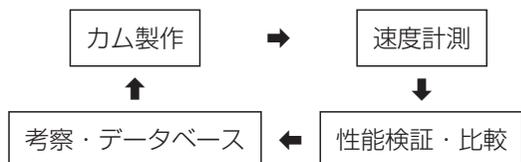


図3 カム製作作業工程

#### 2) 排気ポートの製作

カム担当者は、カムの性能検査を行っている

ときに、排気バルブのリフト量が出力に大きく影響することを突き止めた。そして、ミーティングで班員に発表し、排気効率向上の手立てを探るように依頼した。そこで挙げた案の一つが排気ポートの製作だった（図4）。既存の2サイクルガソリンエンジンを参考にシリンダ側面に穴をあけ、ここをピストンが通過する際に排気を行うようにした。これにより大幅な出力アップを行うことができた。



図4 排気ポート

### 3) 排気量アップ

出力アップのため排気量を上げたが、その結果出力は落ちてしまった。エンジンが消費する空気量にタンクから排出される量が追いついていないため、その原因究明と対策を行った。

#### ① 各部品の流量への影響の測定

タンクからエンジンまでの間は、ホース、ジョイント、バルブなどの様々なパーツで構成されている。それら全ての影響を調べたところ、ホース、ジョイントによる流量低下の影響が大きいことが分かった。ホースは大型重機用の油圧ホースを使用、ジョイントは全て内径の大きいものに変更などの対策により、従来の約2.5倍の流量にすることができた。そのため、当初のエンジン50ccの2.5倍である125ccのエンジンを新規で製作した。

#### (2) 車両の開発

##### 1) ナンバープレート取得に向けた取組

目標とする時速45kmで走行できる直線道路は校内にはないため一般公道で走行できるようにナンバープレートを取得した。空気エンジンは発電をしないため、バッテリーで全ての灯火類を動作させるために配線を作り直した。区役所に確認し法規的な全ての条件を整えた上で申請を行い、道路運送車両法における第二種原動

機付自転車のナンバープレートを取得することができた（図5）。また、公道を走行するにあたり必要となる自賠責保険にも加入した。2) バイクから自転車への変更



図5 ナンバープレート

更なる軽量化のため、ベース車両をバイクから自転車へ変更した。

#### ① 自転車の選定とエンジンの搭載

ベースとなる自転車に求められる条件として、エンジンやタンクといった重量物に耐えられる強固なフレーム、高速から停止できるディスクブレーキな



図6 自転車とエンジン

などを挙げ、それらを満たした自転車としてアサヒ自転車の「ハチハチサイクル」を使用した。（図6）

#### ② 空気タンクの取り付け

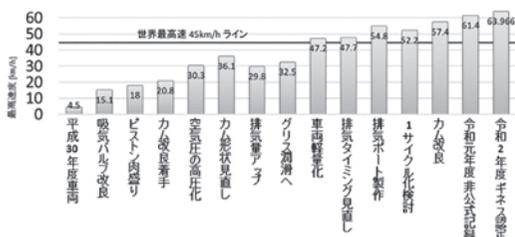
39Lの空気タンクを2つ取り付けた。重心を下げるために車両下部に取り付け、水抜きなどのメンテナンスのために取り外しができる構造にした。また学校名、部品提供をしていただいた企業などのステッカーを作成し貼り付けた。

## 6. 研究結果

最高速度変移のグラフを（表1）に示す。グラフは右に向かって時系列に並んでいる。

令和2年11月27日に熊本のサーキットHSR九州バリアブルコース直線200mにて、ギネスワールドレコーズが定める厳しい条件を満たして速度計測を行った。計測器はタグ・ホイヤー製の精度1/100000秒光電管型速度計測機を使用した。その結果、往復平均速度63.966km/hを記録。令和2年12月にギネス世界記録へ正式に認定された。

表1 速度変移グラフ



ギネスワールドレコーズジャパン公式ホームページとそのQRコードを(図7)に示す。

尚、今回の取組における走行はすべて教員が行っている。



図7 ギネスワールドレコーズ公式HP掲載画面

## 7. おわりに

本稿では、空気エンジンの研究と開発について紹介した。今回の課題研究における取組において、当初設定した「世界最速」という目標を達成することができた。これは、定期的に目標に対する進捗を確認し、目標を意識して活動を行ったことが影響したと考えている。取組の目標を決める段階で、目標はできるだけ高くなるようにし、その結果「世界最速」を目指すことになった。着手当初は課題が多く思うように解決できない場面も多々あったが、課題解決を繰り返すうちにやりがいを感じることができ、休日や放課後なども自主的に活動を行った。また、活動の時間に毎回行うミーティングで進捗報告を行う際、カム担当者がチームに仕事を依頼す

るのは印象的だった。これをきっかけに、他人を頼りチームとして一つの目標に向かう雰囲気を作られ、一人一人の意識の変化を感じた。ここに示した取組は成功した一例であり、そのほとんどが失敗である。成功体験の影にある数々の失敗こそが、一つの成功の価値を引き立てていると感じる。

令和2年度第29回福岡県生徒研究発表会においては、地球環境に配慮した取組内容であること、PDCAサイクルを回した試行錯誤の多い活動であること、カムシャフトの加工という難題に挑戦していることなどが評価され、最優秀賞を受賞することができた。また、本校80周年記念式典特別企画として発表を行い、インターネットによるオンライン配信を行った。

令和3年2月24日、福岡市の高島市長が博多工業高校に来校され、結果報告をさせていただいた。それらの反響は大きく、毎日放送(RKB)、テレビ西日本(TNC)、九州朝日放送(KBC)、西日本新聞、Yahoo! ニュース、ラジオなどにも取り上げていただいた。令和3年10月には東京ビックサイトで開催されるIFPEX 2021 フルードパワー国際見本市への出展が決まっている。

最後に、計測日当日の写真を(図8)に示す。



図8 福岡県生徒研究発表会

工業教育資料 通巻第400号  
(11月号)

2021年11月5日 印刷  
2021年11月10日 発行  
印刷所 株式会社インフォレスト

© 編集発行 実教出版株式会社

代表者 小田良次

〒102 東京都千代田区五番町5番地  
- 8377 電話 03-3238-7777

<https://www.jikkyo.co.jp/>