

新素材・新エネルギーを活用した超軽量飛行機の製作

「エアロ^{メシ}MECIA ～夢への挑戦～」

岡山県立水島工業高等学校

服部 亮一 三宅 秀俊 安達 毅 坪井 輝明
河原 正己 花房 浩二 藤原 重喜 藤村 昌之
宮本 敏行 佐藤 輝明 國富 勇樹

本校は平成24年に創立50周年を迎えた。機械科(M)、電気科(E)、工業化学科(C)、情報技術科(I)、建築科(A)の5科があり、それぞれの専門性を活かして協力体制を取りながら1つのプロジェクト(MECIAプロジェクト)に取り組み、燃料電池で走行するエコカーやバイオディーゼル燃料で走行するカートなどを製作してきた。今まで蓄積してきた新エネルギーと新素材を活用する技術を活かして、誰も取り組んでいない未知の技術に挑戦しようと考え、4年前より環境に負担のかからない3つの新エネルギー(太陽光発電、リチウムイオン電池、水素型燃料電池)を動力とし、機体のほとんどに新素材である炭素繊維を使用した一人乗りの超軽量飛行機(エアロMECIA)を製作している。その取り組みについて報告する。

1 はじめに

本校は平成10年頃から新エネルギー・環境教育に重点を置き、様々な教育活動を通して生徒一人ひとりの個性を伸ばしてきた。その一環としてMECIAプロジェクトがある。MECIAプロジェクトとは、専門5科が連携・協力して“工業高校を象徴するものづくり”をするという画期的な取り組みである。その変遷を示す。

平成15年度 MECIA製作
燃料電池エコカー

平成16年度 スーパーMECIA製作
燃料電池車レース全国大会
第4位

平成17年度 BDF MECIA製作
BDFを燃料とするディーゼル
エンジンカート

平成17年度 ウルトラMECIA製作
カーボンモノコック採用
燃料電池車レース全国大会
優勝

平成18年度 ゴールデンMECIA製作
直接メタノール型燃料電池搭載
福祉車両

平成21年度 エアロMECIA製作スタート

このMECIAプロジェクトに取り組む中で燃料電池活用技術(動力源)や新素材の炭素繊維を使った技術(構造体製作法)を蓄積してきた。そして、この技術を受け継ぎ発展させるべくNEXT MECIAを検討した結果、エアロMECIAプロジェクトがスタートした。このプロジェクトは“純粹なる夢への挑戦”と“工業高校の技術の限界に挑戦しよう”という壮大な目的のもと取り組んでいるものである。

2 プロジェクトの立ち上げ

1 プロジェクト組織

MECIAプロジェクトを進める上で下表のような組織を校内に設置した。

5科連携ものづくり委員会	
・教頭	・事務部長
・庶務班長	・生徒課長
・教務課長	・専門5科長
・各専門科委員 5名	
・生徒会	
・プロジェクト参加生徒(部員)	

表1 5科連携ものづくり委員会

2 製作担当組織

製作にあたっては、このMEC I Aプロジェクトを期間限定の部活動とし入部希望をとった。初年度の部員数はわずか5名（機械科2名、建築科1名、工業化学科2名）で、しかも2名は他の部活動と兼務であったが、徐々に増加した。

(ア)プロジェクト参加生徒（部員）

平成21年度	5名
平成22年度	8名
平成23年度	17名
平成24年度	11名
平成25年度	8名

(イ)製作指導担当科

- ・設計、構造・・・機械科
- ・動力制御・・・電気科、情報技術科
- ・機体成型、製造・・・工業化学科
- ・デザイン・・・建築科

3 製作における目的と方針

- ・設計と構造を機械科が、デザインを建築科が中心となって行い、工業化学科が機体の軽量化と強化を図るために素材のほとんどを炭素繊維で製作することを計画した。しかし、過去にこのような取り組みは報告がないため、航空法に沿った強度試験を行いながら課題を克服する。
- ・電気科と情報技術科を中心として、3つの新エネルギーをバランスよくモーターへ供給できる電装システムの開発を行う。
- ・この製作を通して学校のものづくりの技術を伝承しつつその力を高め、蓄積する。

3 エアロMEC I Aの仕様

- ・機体全長 約6.5m
- ・両翼幅 約1.3m
(主翼は取り外し可能で、組み立て式)
- ・機体重量 約270kg
(パイロットの体重約70kgを含む)
- ・プロペラ 直径1.36m
(炭素繊維製)

- ・モーター 15kW
- ・リチウムイオン電池 5.6kWh
(リチウムイオンポリマー電池)
- ・太陽光パネル 600W
(ソーラーカー用モジュール)
- ・水素燃料電池 1kW

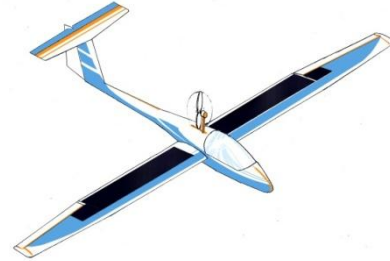


図1 エアロMEC I Aイメージ図

4 製作の流れ

1 機体の設計

世界中で過去に飛行した超軽量飛行機から、本校の目的に最も適した機体を選び、改良を加え設計した。この設計段階でJAXAにも相談し、アドバイスをいただいた。そして、軽量でシンプルな形の飛行機である有人型動力飛行機（モーターグライダータイプ）を製作することに決定した。

2 主翼桁・機体の製作

(1)バータム法（真空樹脂含浸製造法）

飛行機の構造体で最も重要な部分が主翼の桁である。桁の強度は4G（機体総重量の4倍）が必要とされ、いかに軽くて強度にあった桁を製作できるかが今回の飛行機づくりの第一の課題であった。有識者に相談しても木製やアルミ製を勧められるばかりで、炭素繊維での製作は止めた方がよいとのことであった。しかし我々はこれまでの技術の蓄積と応用、そして誰もやったことのないものづくりへの挑戦から炭素繊維での主翼桁づくりを決定した。F1カーやボーイング787に使われている炭素繊維を材料とした部材は、オートクレーブで高温高压のもと作られる。本校にはそのようなものは当然ない。そこで独自の方法を編み出し、真空減圧で型に圧着し60℃の加熱を1～2時間かけて樹脂を硬化させる低温定圧のバータム法で製作した。

(7) カーボンハニカム複合材の製作

机上に離型専用シートを敷き、その上に過剰樹脂吸収シート、炭素繊維を順に置き、エポキシ樹脂を極力少なめに塗布する。さらにペーパーハニカムを置き、別の机上で用意しているエポキシ樹脂含浸済みの炭素繊維を置く。最後に過剰樹脂吸収シート、離型専用シートを順に置き、真空減圧が出来るよう上下の離型シートをゴム粘土で貼り合わせた。これを真空ポンプにより真空減圧した状態で高密度発泡スチロール製の恒温装置（以下、真空成形加熱炉）に入れ、バータム法でカーボンハニカム複合材を製作した。

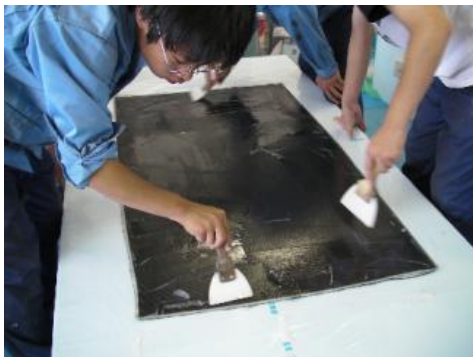


写真1 炭素繊維にエポキシ樹脂を含浸



写真2 ペーパーハニカムをセット

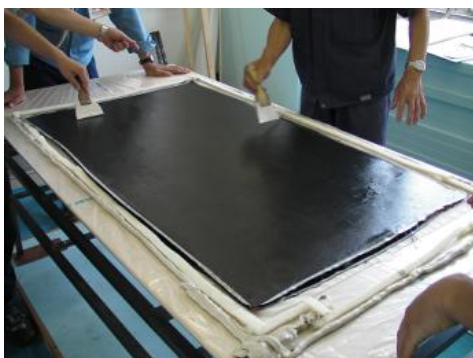


写真3 炭素繊維を置いてエポキシ樹脂を含浸

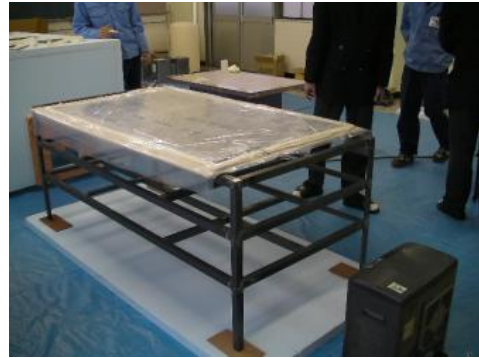


写真4 過剰樹脂吸収シートと離型シートをセット



写真5 真空成形加熱炉



写真6 カーボンハニカム複合材完成

(イ) 主翼桁の製作

できあがったカーボンハニカム複合材を主翼桁の寸法に合わせて切断し、重ね継ぎ合わせ、さらに樹脂含浸済み炭素繊維を複数回巻き付けた。さらに圧縮・ねじり・曲げ・せん断の負荷を補えるようポリアリレート繊維を巻き付け、最後に炭素繊維をもう一度巻き付け樹脂を浸させた後、バータム法で6mの主翼桁を製作した。完成品に至るまで8回の試作と強度試験を行い、約1トン・mの荷重試験に耐える主翼桁ができた時は大きな感動と達成感を味わった。



写真7 カーボンハニカム複合材に炭素繊維を巻き付け中



写真10 風防のスチロール原型



写真8 主翼桁の荷重試験

(2) 機体の製作

(7) スチロール原型の製作

本校はMEC I Aプロジェクトにおいてメス型工法で構造体を成型してきた。今回も同様の方法で機体製作を行うことになり、メス型製作に必要なスチロール原型製作を広島県福山市の企業に依頼した。



写真9 スチロール原型

① スチロール原型の表面処理

メス型をとる時に、発泡スチロールが樹脂に侵されないようにポリエステル樹脂をスプレーガンで塗布し、その上に黒色の樹脂を混合した不飽和ポリエステル樹脂を塗布する。そして表面の凹凸がなくなるよう研磨した。



写真11 スチロール原型に樹脂を塗布中



写真12 樹脂の塗布を3回行った状態

② メス型の製作

表面処理した原型の表面を水で洗浄し、アセトンで脱脂し、ワックス、ポリビニルアルコールで離型処理する。そして黄色のポリエステル樹脂

(ゲルコート) をスプレーガンで塗布する。そこにガラス繊維のサフェーサーをポリエステル樹脂で原型になじませる。刷毛、ローラーを使ってしっかり押しあわせる。その上にガラス繊維のクロス2枚とマット1枚を不飽和ポリエステル樹脂で貼り付ける。メス型を変形させないために足(補強用)を高密度発泡スチロールで作り接着する。硬化後、黒色樹脂とゲルコートの間にエアーを吹き込み、メス型を原型から離型した。出来上がったメス型の表面を鏡面仕上げした。この方法で胴体部4個、主翼部3個、垂直尾翼部2個、水平尾翼部1個、風防部1個の計11個のメス型を1年半かけて製作した。



写真13 ゲルコートを塗布した状態



写真14 ガラス繊維を樹脂で貼付け中



写真15 メス型に補強材を付けた状態



写真16 完成した11個のメス型

(イ)メス型から機体を製作

メス型完成後、駆動システム配置と成型精度を確認するため、ガラス繊維を用いてスケルトン機体(胴体部)を製作した。製作法はメス型の内表面に離型剤を塗布し、前述のメス型製作と同様にガラス繊維を用いてGFRP成型法で行い、樹脂硬化後、メス型から外しスケルトン機体が完成した。



写真17 スケルトン機体内部の様子



写真18 スケルトン機体(胴体部)

このスケルトン機体を用いて、ジュラルミン製の軸受け部品や連結装置、操縦系統機構部などの設置場所や動作確認を行った。成型精度や部品類、動作確認などができたので、炭素繊維を用いての機体成型に入った。成型方法はメス型の内表面に

離型剤を塗布し、エポキシ樹脂を含浸させた炭素繊維を敷く。その上に過剰樹脂吸収シートを敷き、離型シートを敷いて、真空減圧が出来るよう離型シートの周囲をゴム粘土でとめた。これを真空ポンプにより真空減圧した状態で真空成型加熱炉に入れ、バータム法によって成型した。このとき機体の補強や接合に高密度発泡スチロールを半円柱状に加工して、それを炭素繊維で覆いながら真空成型する独自の方法を考えた。できあがった機体の表面を鏡面仕上げした。全ての機体成型（胴体部、主翼部、水平尾翼部、風防部）が終わるまで約1年かかった。



写真 19 補強材を炭素繊維で覆い強度向上



写真 20 完成した炭素繊維製機体（胴体部）



写真 21 完成した炭素繊維製機体（水平尾翼部）



写真 22 完成した炭素繊維製機体（垂直尾翼部）

3 駆動部の部品と主脚部の製作

操縦席から主翼、水平尾翼、垂直尾翼などを操作する軸受け部品や連結装置、操縦系統機構部などのほとんどの部品を炭素繊維で製作した。その都度、安全性を確認するため強度試験を行った。また、主脚部のメインタイヤ及び固定部は、機体胴体一部を製作し、これにメインタイヤを装着し、250kg相当のおもりを搭載し、これを50cmの高さから自由落下させ変形や破壊状況を確認した。



写真 23 右はジュラルミン製部品
左は炭素繊維製



写真 24 ほぼ炭素繊維製の部品



写真 25 タイヤ固定部も炭素繊維製

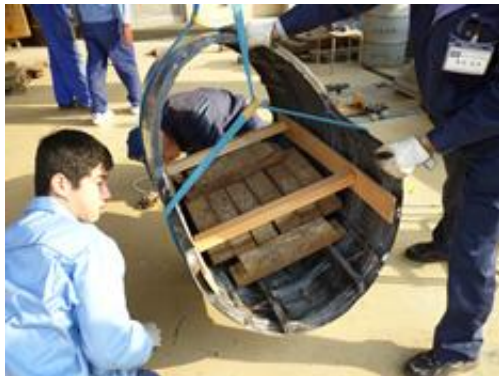


写真 26 胴体部の自由落下強度試験

4 動力部の試験

エアロMACIAの機体を浮揚させるためには滑走速度が約60 km/h以上必要である。モーターとリチウムイオン電池を機体に見立てた3輪車に搭載してグラウンドで走行実験を行ったところ、十分な推進力が得られることがわかった。一度浮揚すれば、本機はモーターグライダーに近い構造をしているため太陽光パネルの発電力で充分推進すると思われる。また、水素型燃料電池は悪天候のときのための電源とすることができる。この3つのクリーンエネルギーをバランスよく供給できる電装システムを開発した。



写真 27 3輪車による動力試験

5 組み立てと走行試験

校内の卓球場で組み立てを行った。その後、操縦系統の部品を取り付け完成した。なお、主翼部と水平尾翼部については脱着可能となっている。5月中旬に牽引による走行試験を数回実施して舵の利き具合やバランスを点検した。その後、動力部を取り付け自力走行による試験を実施した。



写真 28 卓球場で組み上げた機体



写真 29 車による牽引走行試験

6 完成披露式典と課題

5月25日(土)に岡山県笠岡市の笠岡ふれあい空港でエアロMECIAの完成披露式典ならびにテスト走行を行った。航空局からの飛行許可が下りず滑走路を自力走行するのみであったが、今にも飛び立ちそうなその姿に多くの方が感動し、製作関係者を讃えた。式典には岡山県教育長をはじめ本校OBや保護者も多数訪れ、本校のものづくりを祝福してくださった。



写真 30 完成披露式典でのテープカット



写真 31 集合写真

今回のテスト走行で利用した飛行場は、滑走路の全長が約800mで、実際に使用できる距離は500mと短いため、より短い距離で安定した加速が要求される。そのため、安定した地上滑走を行うための補助輪を取付ける。また、安定した推進力の確保、飛行姿勢を制御し易いプロペラ軸迎角の調整等、各部の点検・調整を行い飛行につなげていきたいと思っている。



写真 32 自力走行中のエアロMEC I A



写真 33 操縦席に校長が記念搭乗

5 まとめ

はじめの発想は単純だった。陸はウルトラMEC I Aで挑戦した。海はソーラーボートやFRP製のカヌーボートを過去に製作した。次は空だ。しかも世界中で誰も作ったことがない飛行機を

作ろう。このような意気込み、“純粹なる夢への挑戦”だけで始まったエアロMEC I Aプロジェクトは、飛行機の知識を持った人たちからは99%無理だといわれた。しかし残り1%に賭けて本プロジェクトに生徒・教員は挑戦した。教科書もなく、炭素繊維の物性の知識も乏しい中、暗中模索で研究・試作・強度試験・失敗を繰り返す苦難の連続だった。しかし、その中で本校の技術力を受け継ぎ、さらに発展させ、炭素繊維を多く使用した新エネルギー動力有人飛行機を製作することが出来た。

今回プロジェクトに参加した生徒の中には、鉛筆削りもままならない者がいた。その生徒が本プロジェクトで鍛えられ、様々な技術を習得し、人間的にも大きな成長を遂げた。このような生徒一人ひとりの成長は、飛行機の完成以上に喜ばしいことであった。“ものづくりは人づくり”この言葉を聞いて久しいが、まさに今回のMEC I Aプロジェクトは“本物のものづくり”を通して、多くの生徒の個性を伸ばすことが出来たと実感している。

終わりに、今回のプロジェクトに快く材料の提供や技術支援のご協力を頂いた、関係企業ならびに本校同窓会の方々に厚くお礼申し上げます。



写真 34 エアロMEC I Aとプロジェクト参加生徒