

バッテリーカーの設計・製作とレース活動

堀口 淳司^{*1}, 弓削 康平^{*2}

Design, manufacturing and race activities of a battery vehicle

Junji Horiguchi^{*1}, Kohei Yuge^{*2}

ABSTRACT : Recently a project-based education, where solving a problem with multi- disciplinary knowledge is stressed on, is being recognized to be important in the engineer education. Since computers are widely used in the manufacturing industries, it is desirable that such an education is related to CAD (Computer Aided Design) and CAM (Computer Aided Manufacturing) in the mechanical engineering field. The authors started a project-based education where the students made a solar or battery car with CAE systems and took part in car races in 1998. In this paper, design and manufacture of an electric car for a battery-car race for this project is discussed. First how the students designed the battery car with a 3D-CAD system is explained. Then the race results they had participated in are shown. It is shown that this project is very effective in developing the total ability relating to the industrial design.

Keywords : CAD, CAE, Education, Design

(Received April 28, 2005)

1. はじめに

近年、工学教育では個別の専門教育の他に、それらを総合的に活用するプロジェクト教育の重要性が叫ばれている。なぜなら、授業として学んだ知識を物づくりに活かすには、知識を総合的に利用する教育が別途必要であることが認識されてきたからである。特に近年では、物づくりにコンピュータが広く活用されて来ているため、日進月歩のコンピュータ援用工学と関連を持たせたプロジェクト教育が製造業と密接な関連を持つ分野の技術者教育では重要である。

このような状況を鑑みて、筆者らは1998年より「CAE (Computer Aided Engineering)を活用した構造物の最適設計」という卒業研究テーマを設け、その一環としてソーラーパワーによる走行競技であるワールド・ソーラー・バイシクル・レース¹⁾用車両を学生が主体となって設計・製作しレースに参戦してきた²⁾。このプロジェク

トベースの卒業研究では、学生は空気抵抗が少なく軽量でかつ高剛性の車体を決められた予算の中で設計・製作する必要があり、材料力学から工作の実技まで幅広い知識や技能を要求されるために総合教育としての効果は極めて高い。ソーラーカーレースはその特性上、夏場にレースが集中するため、2003年からは、通年、全国各地でレースが開催されるバッテリーカーレース「ワールド・エコノ・ムーブ³⁾」へと活動の中心を移した。これに伴い新たにバッテリーカーレース専用の車両を設計・製作した。新車体の製作にあたっては3次元CAD(Computer Aided Design)を利用するだけではなく、CADから直接デジタルデータを送り製作するモデリングマシンを使用したため、従来に比べ工作精度が非常に高くなった。その結果として著者らが期待した以上のレース結果が得られたので報告する。

以下次章では、デジタルマニファクチュアリングによって熟練技術を持たない学生らがいかにして高精度の車両を製作していったかを示す。また、続く第3章では参戦したレースの概要と結果を、また第4章では本プロジェクトを通して設計・製作面以外で学生教育に寄与した活動を紹介し、第5章にまとめを示す。

^{*1} エレクトロメカニクス学科助手 (Research Associate, Dept. of Electrical and Mechanical Engineering),
e-mail : horiguch@st.seikei.ac.jp

^{*2} 同教授 (Professor, Dept. of Electrical and Mechanical Engineering)

2. 車両の設計・製作

著者らが参加する「ワールド・エコノ・ムーブグランプリ(WEMGP)」は与えられたバッテリーのみをエネルギー源として、決められた時間内での走行距離を競うものである。国内各地で年間約6戦行われ、開催地によって平坦なコースや、自動車レース用のサーキットを使用した曲線・坂の多いコースも存在する。従って、車両は走行抵抗と空気抵抗軽減のため、小型・軽量であることが必要となる。また、走行安定性の見地から高剛性であることが要求される。設計は図1に示すように3次元CADを活用した。コンピュータ上に3次元的にデジタルモデルを表示することで、デザインを直感的に確認できる。また、リンク機構を動作させて干渉チェックを行うことができる。更に、3次元CADで作成したデジタルデータは、そのまま強度解析に用いることができるほかCAM(Computer Aided Manufacturing)マシンの加工データにも使用される。



図1 3次元CADによる車体設計

車両の製作においてはその大部分をカウルの製作に費やされる。学生は短期間に設計から製作まで行う必要があるために、カウルの製作手順を工夫することが重要となる。車両の製作は次のようなプロセスを経る。

- (1) オス型の製作
- (2) オス型からメス型の製作
- (3) FRPの積層(アンダー、アッパーカウル)
- (4) 真空引きおよび養生硬化

本車両以前に製作したソーラーカーのオス型は図2に示すように、合板で一定間隔毎に作成した横断面を埋めるようにウレタンフォームを詰め、手作業で削ることによって製作した。表面の凹凸をなくすためにパテを塗る修正を行うが、設計通りの曲面を仕上げることは難しい。



図2 従来法によるオス型の製作

今回の車両製作にあたっては学生実験用に2001年に導入された3Dモデラマシン(図3)を使用してオス型の仕上がり精度の向上と加工時間の短縮を実現することができた。この3Dモデラマシンはコンピュータ制御により3軸の切削加工を行うことができる。煩雑なNCプログラミングをユーザが実施する必要がなく、CAD上からほぼ自動に切削加工ができる。



図3 Roland MDX-500 3Dモデラマシン

使用したモデラマシンの加工可能寸法は500×400×100mm以下に限定されるため、設計したオス型モデルを図4のように分割して別々に製作した。

3Dモデラマシンは回転刃物が上下および水平方向に動き加工するため、ひとつのパーツが裏返し加工の必要がないように分割する必要がある。分割したブロックの荒削り、仕上げ加工(図5)には約1時間を要した。完成したブロック(図6)を接着剤で結合することによりオス型の成形作業が完了する。図7は各ブロック(ウレタンフォーム)をメス型製作用の作業台の上に、テープで仮組みしたアッパー側のオス型である。図2の旧製法法によるオス型と比較すると、表面の仕上がりに歴然とした差があることがわかる。

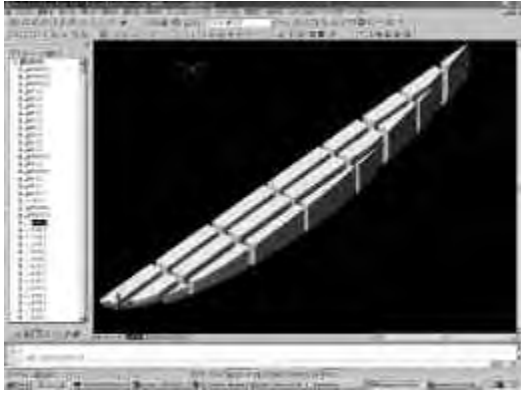


図4 加工用分割モデル

このようにして成形したオス型を基に表面処理を施し、ガラスクロス等を樹脂で積層してメス型を製作する。



図5 3Dモデラマシンの加工風景



図6 加工を完了したオス型パーツ



図7 アッパー側のオス型



図8 アンダー側のメス型の完成

図8はオス型から剥したアンダーカウルのメス型である。

アッパーカウルは、メス型にカーボクロスを積層した後、エポキシ樹脂を含浸させ、真空引きしながら養生硬化を経て完成させる。アンダー側のカウルは、ドライバが乗車するため十分な構造強度を持たせなければならない。しかし、車内にリブやフランジを配置すると車体内部のスペースが狭くなり、ドライバの居住性が悪化する。そこで、標準体型の学生が乗車できる十分な内部スペースが確保されるように内部には補強板を設置せず、アンダーカウル側面を補強して、この側面に曲げ剛性を持たせるモノコック構造を採用した。アンダーカウル側面は軽量なコア材をFRPで挟み込んだサンドイッチ構造になっている。コア材には建築資材として流通している樹脂を発泡させたスタイロフォームを使用した。前述のオス型製作と同様にコア材は、CADで設計した後に厚さ10mmのシェル状の小パーツに分割し3Dモデラマシンにより切削加工した(図9)。

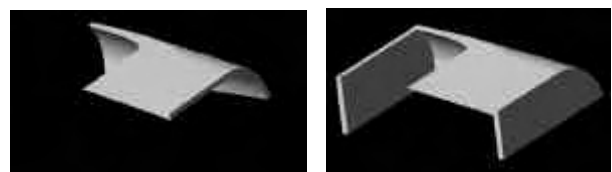


図9 コア材のCADモデル図

WEMGPには様々な設計の車両が参加するが、このように3Dモデラマシンによって軽量なモノコック構造を製作する試みは著者らが初めてであった。コア材の切削は図9から明らかなように上下方向からの2面加工が必要である。また、パーツ外寸に対して肉厚が10mmと薄く、加工台への固定も難しいことから、リブで補強されたパーツ形状(図9のb)を設計し、これを切削加工によ

て製作した後に不要なリブをカッターで切り落とすこととした。図10は、加工されたコア材をメス型に仮配置した様子である。図中の平らな床部分は、より高剛性な既製品の構造用サンドイッチパネル⁴⁾を使用した。



図10 加工したコア材をメス型に配置

また、アンダーカウル側面のサンドイッチ構造には、コア材として使用するフォーム材には、図11に示すように約50mm間隔で3mm径の穴を設けた。この穴には、FRP積層後の真空引き時に樹脂が含浸する。それを硬化させることによって、フォーム中に樹脂の柱を形成しコア材の厚み方向の剛性を向上させることにした。アッパーカウルに関しては、構造的強度は必要ないので、軽量化の

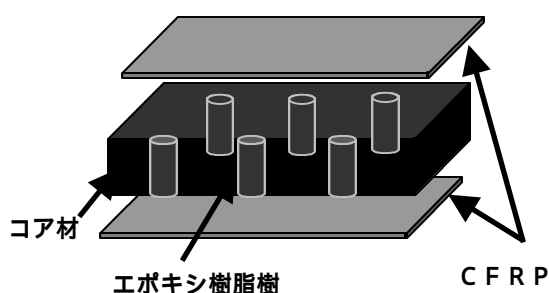


図11 カウルのサンドイッチ構造



図12 完成したSEIKEI006

表1 車両の主要諸元

全長	2950mm
全幅	560mm
全高	545mm
ホイールベース	1338mm
トレッド	406mm
最低地上高	50mm
車両質量	21kg
車輪数	前輪 2 後輪 1
フロントタイヤ	アシダ 14 インチ
リアタイヤ	ミシュラン20インチ
モータ	特殊電装アモルフアスコア DC プラシレス
駆動方式	後輪駆動 チェーン 1 段減速

観点からコア材なしのカーボクロス2 プライを使用したFRPとした。図12に駆動系の部材と車輪等を搭載し完成したモノコック構造の車両を示す。表1に車両の主要諸元を示す。

3. レース活動

レースに参加することにより、学生は通常の講義では得られない、総合的なものづくりを体験することができる。そこで、前章で紹介した車両を用いて2003年度と2004年度のWEMGPに参加した。

参加した大会名とレースの結果を表2に示す。

表2 参加レースと結果

2003ワールド・エコノ・ムーブ・グランプリ			
大会名称	開催日	開催地	結果
第5戦	Oct. 25/26 (Sat/Sun)	旧南紀白浜空港 (和歌山県)	予選10/42位 本戦6/42位
2004ワールド・エコノ・ムーブ・グランプリ			
大会名称	開催日	開催地	結果
第1戦	Apr. 10/11 (Sat/Sun)	クレフィール湖東 (滋賀県)	予選 1 / 20位 本戦16/20位
第2戦	May. 3/4 (Mon/Tue)	大湯村スポーツライン (秋田県)	予選35/81位 本戦 雨中止
第4戦 (E0)	Sept. 3/5 (Fri/Sun)	豊田スタジアム (愛知県)	予選5/61位 本戦2/64位
第6戦	Nov. 13/14 (Sat/Sun)	幸田サーキット (愛知県)	予選18/34位 本戦11/34位

製作した車両(SEIKEI006)で最初に参加したレースは2003年10月25日、26日に旧南紀白浜空港(和歌山県)で開催されたWEMGPである。予選スタートが近づき緊張感が高まりつつある学生の様子を図13に示す。この予選は距離1kmのタイムトライアル形式で競われ、本戦のスターティンググリッドが決定される。予選の成績は42台中10位であった。本戦は競技時間1時間における総走行距離で競われ、6位となった。

翌2004年の2レース目となるWEMGP第1戦の湖東大会は、最高速度が50km/hを超え、上り下りのある楕円形コースで開催された。SEIKEI006は高速コースで低空力性能が発揮できたことと、バッテリーの放電管理技術を向上させたことが功を奏し、参戦以来、初めて予選1位を獲得した。図14は本戦スタート前の様子である。本戦では中盤、タイヤがパンクし、完走できなかったため16位の結果に終わった。

グランプリ2戦目となる大湊大会は、荒れた路面の平坦なコースで開催された。SEIKEI006は、空力性能を重視して小径フロントタイヤを採用し前面投影面積を小さくする設計となっている。数値シミュレーションでは小径タイヤの採用によって転がり抵抗は増加するものの、空力抵抗の減少はそれ以上に大きいという結果を得ていた。



図13 白浜大会 予選スタート風景

実際の走行では路面の荒れによって、計算以上の転がり抵抗が発生し、予選は参加81台中35位であった。本戦は大雨のため中止となり予選の結果が大会結果となった。この大会では理想的な路面や気象条件のみを仮定したシミュレーションと実際のレースでは相当異なる条件となる場合があることを学ぶ良い機会となった。また、雨天時にフロントスクリーンが曇り、走行に支障をきたすほど視界が狭くなることも予想していなかった。この経験を基に、ドライバの視界を十分に確保するため、ピラーによって分割されていたフロントスクリーンを一体成型のクリアなものへと変更した。また、ステアリングの機構を改造してがたつきを低減させ、荒れた路面での操縦安定性を高めた。

4レース目の豊田大会では、競技時間1時間クラス(エンジョイ・オープンクラス(EO))にエントリーした。レースには、ドライバ体重が一定値となるよう科せられたおもり12kgを、前輪にくらべ径の大きい後輪付近に搭載して、タイヤの総転がり抵抗を低減させるよう工夫した。この結果、61台中予選5位、本戦2位と1998年にプロジェクトを開始して以来参加したレース中で最も良い成績を収めた。図15はレース後表彰される学生の様子である。

2004年度の最終参加レースとなった幸田大会は、コー



図15 豊田大会 成蹊大初の表彰台



図14 湖東大会 ポールポジションを獲得



図16 幸田大会 スタートを待つSEIKEI006

ナーが続くサーキットコースのためフロントタイヤのパンクを予期して、前輪の取り外しと取り付けが短時間で行えるように整備性の改善を行った。レースは、予選18位、本戦はレース中盤まで上位で周回していたが心配していたタイヤのパンクが発生した。パンク時のタイヤ交換を迅速に行うことができたため、再スタートして完走することができたが、11位であった。図16は最終戦、幸田大会の本戦スタートを待つSEIKEI006である。

これら一連のレース活動によって、学生のチームワークや、相互の意見交換能力は目に見えて向上した。レースで上位になるという明確な目標があったことは大きい。プロジェクト教育において、コンテストあるいはレース形式はよくなじむというのが著者らの率直な感想である。

4．その他の活動

近年、機械系技術者教育の一環として、企画を実現するための発表能力や創造力を高める教育も重要視されるようになってきている。そこで、このプロジェクトでは車両の設計・製作とレース活動の他に、成果発表等の教育も兼ねて学生には研究室のWeb上⁵⁾で電気自動車の製作過程とレース活動の報告を掲載させた。

また、大学の学園祭(櫛祭)期間中は製作した車両の展示、および製作過程とレース活動報告をポスターパネルで紹介した(図17)。展示会場には、エコノムーブ大会に感心を持つ来場者多数から様々な質問を受け、説明担当の学生には貴重なコミュニケーション能力を養う機会となった。



図17 学園祭での展示風景

5．まとめ

プロジェクト教育の一環として著者らが学生チームと共に実施したバッテリーカーの設計・製作法および参加したレースの概要と結果を示した。プロジェクト教育に

よって学生は設計から製造までのづくりの全ての行程を経験するほか、チームワーク、コミュニケーション能力の重要性を学ぶことができる。

本プロジェクトは限られた数の学生を指導することを前提に実施してきたが、設備、費用などの点でさらに工夫を凝らし、より多くの学生が参加できるプロジェクト教育法を考えていきたい。

謝 辞

本プロジェクトは工学部特別研究費(学生参加型)の支援を頂きました。また、本プロジェクトに関わった全ての学生および関係者の方々にこの場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) <http://www2.ogata.or.jp/wsbr/index.htm>
- 2) 弓削康平，堀口淳司，渡辺大，石井貞行，創造的卒業研究：ソーラーカーの設計と製作，成蹊大学工学研究報告，Vol.40,No2,pp9-16,2003
- 3) <http://www2.ogata.or.jp/wem/emindex.htm>
- 4) <http://www.ghcraft.com>
- 5) <http://cml.me.seikei.ac.jp>