

技術教育における総合教材としての ハイブリッド・カーの製作

Assembling of Hybrid-Car as a Comprehensive Educational Material in Technology Education

吉田昌春*・古田 拓**

YOSHIDA Masaharu, FURUTA Taku

中学校技術の教員養成課程において、領域を超えた総合教材開発の必要性が高まりつつある。ハイブリッド・カーの製作においては、さまざまな加工要素や設計などの技能を必要とし、総合教材として位置づけられる条件を備えている。さらに、太陽電池とバッテリーの二電源で動作する方式から、エネルギー教育と関連した教具としても位置づけられる。

部品選定から組み立てまでの検討および製作過程と、Econo Power in GIFU 大会への参加結果についてその内容を述べる。

キーワード： ハイブリッド・カー，太陽電池，総合教材，エネルギー教育

はじめに

従来、中学校技術科の教員養成課程においては、電気、機械、金属、木工、栽培、情報といった6領域を軸にした教育が行われてきた。しかし、平成10年度の指導要領改訂において、技術分野は、「技術とものづくり」、「情報とコンピュータ」の2つの内容に改訂された。これにともない以前の各領域を包含した、総合的な教材開発の必要性が高まりつつある。

本研究においては、総合的なものづくり教材の可能性を検討するために、太陽電池・バッテリーの二つをエネルギー源とする「ハイブリッド・カー」を製作し、中日本自動車短期大学で行われた「Econo Power in GIFU」大会の「ハイブリッド・カーB」カテゴリーにて競技参加した。その実施概要を述べる。



図1 Econo Power in GIFU 大会風景

図2 製作したハイブリッド・カー全景

* 岐阜大学教育学部技術教育講座

** 岐阜大学大学院教育学研究科

大会の規定と車両形式

今回参加する大会は、発電電力100W以下の太陽電池を搭載し、規格に定められたバッテリー(12V 4 Ah)を使用して、一周567.2mの特設コース(図3)を60分間走行した距離を競う形式で行われる。

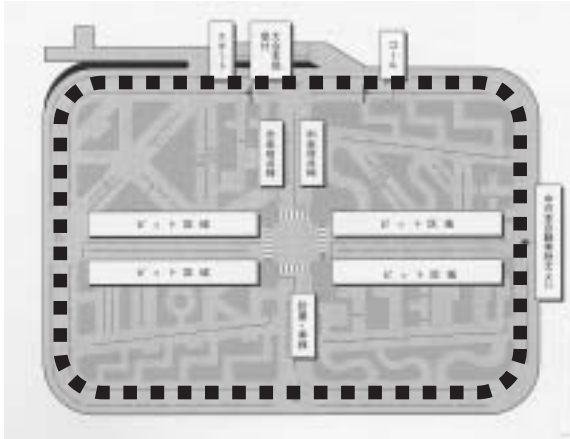


図3 大会コースレイアウト

表1に示す競技規定と表2に示す車両規則によって、それぞれ規定が厳しく定められているので、これに則した車両を製作しなければならない。今回は運転手を50kg程度の成人男性として設計を行った。また、最高速度を20km/hと仮定し、各部の設計を行うことにした。

このカテゴリーの省エネ・カーを製作する際には、販売されている部品も限られることから、タイヤは前後輪とも20インチを用い、前2輪、後1輪の前輪操舵、後輪駆動とした。本来ならば、本体のアルミパイプを加工・溶接し、フレームを製作する必要があるが、今回は、中日本自動車短期大学から譲渡されたフレームを改良して使用することにした。

表1 競技規定

	ハイブリッド・カーB
バッテリー	・スタート前にバッテリーのステアに封印を受ける。
スタート	・各競技の動力源でスタートする。 ・スタート旗の振り上げられた瞬間をスタート時間とする。
出走順	・グリッドはゼッケン順で、一斉スタートとする。 ・スタート・ラインからグリッドまでの距離は、走行距離に加算される。
ゴール	・競技終了時間を、ピストル音とコース委員の赤色旗により知らせる。ドライバーはそれを確認した後、5秒以内に車両を停止させる。 ・競技終了後、コース委員により距離計測とバッテリー封印の確認が行われる。なお、全ての距離計測が終了するまでは車両の移動はできない。

動力伝達と回転速度

最高速度を20km/hと設定したため、モータの機種選定がある程度される。駆動輪の外周長は1564mmである。ここから計算することにより、駆動輪は213rpmで回転させる必要があることがわかる。モータ・駆動輪間はスプロケットとチェーンで動力伝達するため、スプロケットの外周長を変えることでギア比の微調整が可能である。

表2 車両規制

	ハイブリッド・カーB
車両サイズ	・全高:1.6m以下 ・全幅:1.2m以下 ・全長:3.0m以下 ・軸距:特に定めず ・輪距:特に定めず
車輪数	・3輪以上、停止・走行時にかかわらず自立できる構造。
運転姿勢	・運転時、ドライバー頭部がつま先より前に位置してはならない。
ブレーキ	・8%の勾配で完全に停止できるもので、ドライバーが運転姿勢の状態で作動できる独立した2系統のブレーキ装置を備えること。
走行装置	・人力を含め、原動機以外の補助動力となりえる機構の装備は一切認められない。
ボディ	・自作のものに限る
原動機	・モータ(種類は自由)
(出力装置)	・太陽電池100W以下(市販品に限る)
バッテリー	・動力用で一個(形式指定あり)
スピード・メータ	・脱着式のスピード・メータを搭載すること。
電装品	・電気配線は車検時に外からその取り回しが確認できる状態で、かつ安全な配線で行なければならない。 ・スピード・メータおよび搭載無線機、クラクションの内蔵電池を除き、競技指定バッテリー以外のいかなる電池も搭載できない。 ・駆動用モータによる再生制動は認められる。 ・コンデンサを使用する場合は、スタート時に電荷がゼロであることを証明しなければならない。
安全性	・競技車両の外側およびコックピット内に危険な突起物があってはならない。 ・競技車両の先端部分は安全が確保できる形状であること。 ・ドライバーは皮製グローブとヘルメットを装着すること。 ・ドライバーは電気ショックから保護され、火災などに対しても十分な安全な構造であること。 ・緊急な場合に備え、ドライバーは速やかに自力で脱出できること。 ・警笛(クラクション)を装備すること。ミニバイク用のクラクションを推奨する。 ・安全な走行を確保する視界を有すること。 ・後方視界を確認できるフレーム付バック・ミラーを左右各一個装着すること。 ・車両は操縦安定性に十分な剛性を有すること。

部品の入手

ハイブリッド・カーを構成する部品は、レース専用設計・開発されたものもあるが、需要が少ないために部品によっては受注生産であったり、超高価であったりする場合が少なくない。また、特注品であることもあり、納期が総じて長いのが現状である。このような理由により今回車両を製作するにあたり、部品を入手する事に労力を費やした。それぞれの入手先を表3に示す。

表3 部品の入手経路

部品名	型番等	入手先
太陽電池		安川電機
モータ		マクソンジャパン
プラネタリギアヘッド		マクソンジャパン
タイヤ		自転車屋
チューブ	汎用	自転車屋
リム	汎用	自転車屋
スポーク	汎用	自転車屋
ハブ(前輪)	車椅子用片持	自転車屋
ハブ(後輪)	自転車用	自転車屋
スプロケット(モータ側)		新和工具
スプロケット(駆動輪側)		新和工具
チェーン		新和工具
バッテリー		マンモス
モーターコントローラ		浪越電気
太陽電池コントローラ		日本イーテック

太陽電池の制御

本車両はエネルギー源を2種類もつことから「ハイブリッド・カー」カテゴリーに分類されている。ひとつはミニバイク用のバッテリーで、もうひとつは太陽電池である。この太陽電池を使用する際、そのままバッテリーに直結しても変換効率は望めない。しかしMPPT技術を用いることで、太陽電池の変換効率を飛躍的に高めることができる。その詳細を記述する。

太陽電池には、最大の電力を取り出すことができる電圧・電流が照度と温度に応じて一点だけ存在する。ここで、チョップパ回路など電力変換器を用いて、最大の電力点で常に動作するように電圧・電流を制御する。この技術がMPPT(Maximum Power Point Tracking)である。

モータの選定と制御

前項で記述したとおり、駆動輪を213rpmで回転させると適切な速度で車両を走行させることができる。表3に示すとおり、今回はマクソンジャパンのRE 40モータ

(図4)を用いた。24Vで7580rpmを無負荷回転数としているので、12Vで使用すると回転数は約半分になる。それでもスプロケットとチェーンで減速できる回転数に限界があるので、更にプラネタリギアヘッド(GP 42C)を用いて減速している。これにより、無負荷回転でのモータ+ギアヘッドの出力回転数は、146rpmとなった。



図4 マクソン DC モータ RE 40

モータの形式はグラファイトブラシ使用のDCモータである。回転数は電圧に依存するため、たとえばコーナー手前で減速したり、直線では最高速度で走行するという工夫が必要となる。モータコントローラを用いてPWM制御を行い、速度可変をすることで、効率の良い走行を可能にした。また、ブレーキについても電磁誘導でのエネルギー変換を用いて減速制御する回生ブレーキを採用すると、さらに効率のよい走行が可能になる。

太陽電池の選定

大会規定では前述のとおり、出力100W以下の太陽電池を搭載することが許可される。ソーラーカー用の太陽電池特性を何社か検討してみたところ、出力20W程度でも、¥40000を超える価格であった。そこで、一般住宅用に市販されている太陽電池を購入することにした。



図5 太陽電池 NE 70 A 1 T

市販されている太陽電池は、流通ルートや製作基盤が確立されており、ソーラーカーなどの特殊用途用と比較して安価でしかも納期が早い。今回使用したのは、コストパフォーマンスの高い、SHARP NE 70A 1 T (図5)である。安川電機経由で、¥49800で購入できた。仕様は表4に示すとおりである。

表4 NE 70A 1 T仕様

型式	NE 70A 1 T
セル種類	多結晶 Si
最大出力 (Pm)	70W
最大出力動作電圧 (Vpm)	15.81V
最大出力動作電流 (Ipm)	4.43A
開放電圧 (Voc)	20.4V
短絡電流 (Isc)	4.87A
外形寸法 (mm)	530 * 1200 * 35
質量	8.5kg

一般市販太陽電池と、ソーラーカー用の太陽電池との大きな違いは、その構造にある。ソーラーカー用は、多結晶シリコンパネルが、ほぼ露出しており、100W相当でも、500g程度と軽量である。しかし、今回用いた太陽電池では、重量は入荷状態では、8.5kgである。これは、パネル全体を構成している白板強化ガラスと、EVAラミネートの重量が大半である。しかしながら、この状態から、周りのアルミパネルを取り外すことで、1.5kg程度は軽量化でき、総重量6kg程度に収まった。

太陽電池組み付け

太陽電池本体はかなり重量がある。構成要素の中でも、太陽電池が一番重い。取り付け位置についての検討を重ねた。

本体の上部に固定する方式では、ドライバの乗降に十分なスペースを考えると、全高が1.5mになることがわかった。これでは、コーナー走行時の横揺れ、さらに形がスマートではないと感じた。そこで、本体の前部か後部に取り付ける案を検討した。後部では、ドライバの視界をさえぎらず、かつほぼ水平に配置できる。しかし、車両も含めた全長が規定内に収まらないことが判明し、却下した。そこで、前部に角度をつけて配置する(図6)ことで、ドライバの視界確保、さらにサイズの規定内にすべてを収めることができた。



図6 太陽電池取り付け概要

実際には重量物を搭載するため、アルミ角材を本体フレームにアルミパネルとともにリベット接合して固定した。太陽電池パネルの裏には、アルミレールを2本装着し、その溝にあわせるように柱を取り付け、ボルトナットによる接合で装着した。



図7 太陽電池裏の取り付け(右)

モータ・プラネタリギアヘッドの取り付け

使用したモータは前述したマクソンジャパン製 RE 40である。これにプラネタリギアヘッドの組み合わせで注文したため、業者から届いた時点ですでにモータとプラネタリギアヘッドは組みつけられていた。

実際にはプラネタリギアヘッドからの出力となるので、プラネタリギアヘッドの固定穴を用いて固定する。φ4mmのボルト(超硬)を用い、フレームに取り付けたモータ固定用板と共締めすることで装着した(図8)。

また、プラネタリギアヘッドの出力軸には、ドライブ側スプロケットを装着する。規格で25番手チェーンを使用するので、それにあつたスプロケットを購入して装着した。スプロケットの種類にも様々あるが、軸付軸穴径12mmのものをキー・イモネジ加工されたものを装着し

た。

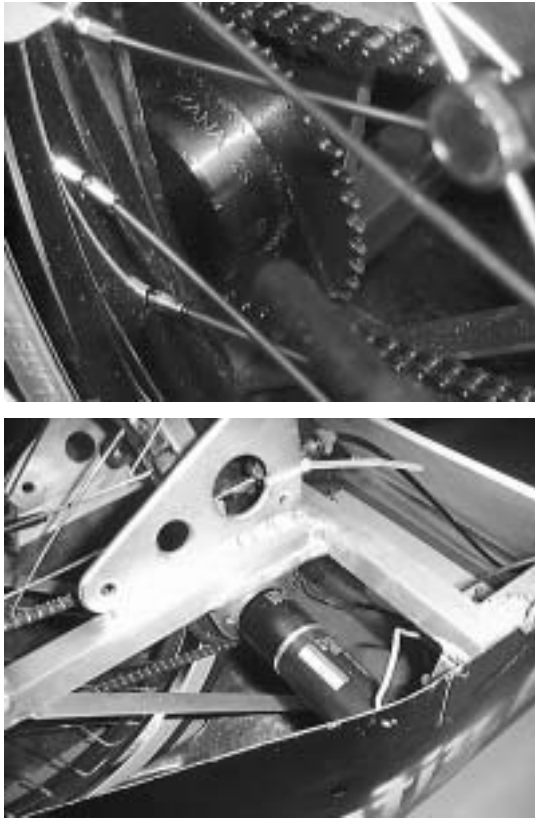


図8 モータ側スプロケット組み付け

前輪の取り付け

前輪・後輪とも共通するものとして、ソーラーカー用のタイヤ・チューブ・スポーク・リムを用いている。通常の自転車用との違いは、軽量でしかも高空気圧に耐えることである。軸下の重量増加は軸上の重量増加に比べてエネルギーロス的に5倍程度の差がある。リム・スポークはなるべく軽く強固なもの、チューブ・タイヤは薄く軽量かつ強靱なもの(図9)を選定している。大会での使用空気圧は8.5kg/cm²である。(通常は2~3kg/cm²程度)



図9 省エネルギー用特殊チューブ

前輪は、左右に片持ちの状態では装着する。片持ちで自重25kg+ドライバ60kg程度を保持できるハブは、車椅子用のものしか無い。そこで、車椅子用ハブを製造段階で穴あけ加工する前のものから、ソーラーカー用軸穴加工を施したものを入手した(図10)。ブレがなく軽快な回転が得られる。



図10 車椅子用片持ちハブ(前輪使用)

後輪の組み立て・取り付け

後輪も前輪と同様、ハブ・リム・スポーク・チューブ・タイヤをソーラーカー専用品の組み合わせで製作している。前輪と異なり、両持ちハブ(図11)の使用が可能のため、ハブの選択幅は広い。



図11 後輪両持ハブ

これにモータからの駆動力を伝えるためのドリブン側スプロケットを取り付ける。規格25番手の平版スプロケットを取り付けるが、これも購入時に中心径を指定して加工後、納品している。今回、ハブの取り付け径と合致させるため、中心径38mmを選定した。

取り付けは、穴あけ加工とボルトナットによる接合で

行うのが定石であるが、加工精度が非常に高度なこと、取り外し、取り付けの手間を省略できることから、ハブに鋼材片を挟み込んでスピンドルねじで締め付ける手法をとった。逆ねじを採用しているため、駆動力がかかって外れることを防止している。



図12 後輪側スプロケット取り付け

スプロケットを装着したタイヤをフレームに組み付けるが、モータ側スプロケットと駆動輪側スプロケットの面を、正確に一直線上に一致させる必要がある。市販品と異なり調整機構などついていないので、挟み込むワッシャの数を調整して面を合わせた(図13)。



図13 ワッシャとチェーン中心調整

制動装置の取り付け

減速時には、モータスイッチをオフにし、ブレーキをかけて制動する。車両規定により、ブレーキは独立した2系統のものを装着しなければならない。しかも8%の下り勾配で完全に静止できる制動力を有することが条件である。

駆動輪は、懸架装置など使用せずに装着したため、フレームに制動機を取り付け、位置を合わせれば制動装置として機能させることができる。タイヤ・リムなど、規格は自転車用品を用いているので、制動器も自転車用を使用した。

普通自転車前輪の制動器は、構造が簡易で流用しやすい。フレームに取り付け用の穴を開け、貫通ボルトで共締めすることで装着した。



図14 2系統制動装置組みつけ

ハイブリッド・カー大会への参加

2004年11月17日、日本ライン自動車学校特設コースにおいて 2004 Econo Power in GIFU 大会が開催された。省エネカー-高校部門20台、省エネカー-一般部門7台、電気自動車-高校部門30台、電気自動車-一般部門3台、ハイブリッド・カー-A部門2台、ハイブリッド・カー-B部門7台の参加で構成された。今回の車両は太陽電池とバッテリーの2つをエネルギー源としているので、ハイブリッド・カー-Bにエントリーした。



図15 Econo Power in GIFU 大会

表5 当日のスケジュール

時間	内容
7:30~	搬入車両入場開始, 受付開始
8:00~	車検開始, 燃料供給
8:30~	代表者, ドライバーズミーティング
9:00~	練習走行
9:30~	開会式
10:00~	電気自動車競技(高校)開始
11:30~	ハイブリッド・カー, 電気自動車競技(一般)開始
13:00~	省エネカー競技開始
16:00~	暫定結果発表
16:30~	表彰式・閉会式
16:55~	搬入車両退場

受付では、チーム名、車両名、参加人数を申請した後、ゼッケンが与えられる。大会に関する諸注意も同時に受ける。

受付後の車検では、各一台ごとに、車両規則に則って製作されているかのチェックを受ける。また、その際、バッテリーには練習走行用と大会走行用のステッカーが貼られ、この時点からバッテリーの交換は禁止される。あわせて、ドライバの服装もチェックされる。その後、代表者、ドライバーズミーティングが行われ、走行にあたっての注意事項、手旗信号の指導、大会運営に関する諸注意などが伝えられる(図16)。



図16 代表者・ドライバーズミーティング風景

エントリー順にゼッケンが割り振られ、スタート順も決定される。しかし、ゴールまでの時間を競う競技ではなく、10時間の走行距離を競うので、グリッドからスタート

ラインまでの距離も加算され、正確な距離を記録とするよう運営されている。

スタートは手押しなどその他の手段を使用せず、車両の持つ動力源のみで行わなければならない。コースはほぼ一定の平坦路であるので、一度スタートしたら終了時間まで止まらず走行し続けることとなる。図17はスタート直前の様子である。



図17 スタート直前グリッド位置

本車両の大会での周回別平均速度を図18に示す。周回数を重ねるごとに、速度が低下しており、バッテリーの疲労が伺える。

一周目は、停止状態からのスタートのため、平均速度は低い。

前半の平均速度が16km/h程度であったのに対し、最終周回では12km/h程度に徐々に低下している。

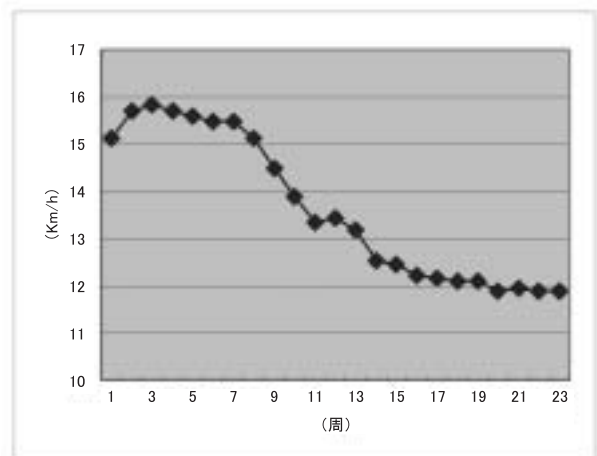


図18 周回別平均速度



図19 走行風景

3) Econo Power in GIFU 大会事務局 web ページ
(<http://www.econopower.jp>)

大会結果としては、ハイブリッド・カー一般部門出場3台中、2位であった。大会初参加での完走であったので、十分満足できる結果である。大会本部による記録認定証を図20に示す。



図20 記録認定証

今後の課題

- ・モータコントローラの選定を行い、最適化された制御での走行を可能にする。
- ・フレームの設計から行い、さらなる軽量化を図る。
- ・空気抵抗を考慮した形状に仕上げる。
- ・MPPT 制御を取り入れた太陽電池コントロールシステムを製作する。

参考文献

- 1) 2004 Econo Power in GIFU 開催報告
- 2) 中日本自動車短期大学 web ページ
(<http://www.nakanihon.ac.jp/>)