

変形式小型ソーラビークルにおける 操作性・乗降性・車両安定性に関する研究*

小笠原 史也¹⁾ 島田 清²⁾

Study on Characteristics of Maneuverability, On-and-Off Board Ability and Stability in the Posture Changeable Small Solar Vehicle

Fumiya Ogasawara Kiyoshi Shimada

Small community vehicles expected to spread in the near future, are hard to be compatible with on-and-off board ability and stability. And it seems that the board ability is considered much important rather than stability. In this study, the posture changeable small solar vehicle is produced. And which is used to test about characteristics of maneuverability, on-and-off board ability and stability with the posture changes. The test result is measured and is considered each the relationship. In the result of experiments, the clear difference has founded on-and-off board ability and stability between the riding mode and driving mode. On the riding mode, on-and-off board ability is improves due to high vehicle posture. On the driving mode, the stability is improves due to low vehicle posture. So, the compatible performance considered from first time has confirmed.

KEY WORDS: Mobility vehicle, Solar Car, Position Change, Transformation, Vehicle Education

1. まえがき

自動車は、個人が利用する自家用自動車から物流の中心的役割を担うトラックおよび公共交通機関であるバスなど、現代の社会生活になくなくてはならない存在となっている。

一方で、内燃機関を使用する自動車においては地球環境への負荷が大きく、そのため、実用燃費の高いハイブリッドエンジンを用いる自動車の販売が拡大している。しかしながら、いかに実用燃費が向上するとは言っても、近場での買い物や病院への送り迎えなどに大型のハイブリッド車を使用することはあまり得策とは言えない。都市部における近距離移動の用途とあわせ、地方における高齢者の日常生活の足としての地球環境への負荷が少なく、また、誰でも扱いやすい移動手段としての新しい自動車が求められている。

上記のことを踏まえて、自動車の将来構想として小型のコミュニティビークルが短距離において使用されることが想定されている。2012年には、国土交通省はこれまでのマイクロカーの規格を拡大して二名乗車まで可能な新しいマイクロカー構想を公表した。2013年度は、各地のモータショーにおいてこの規格に準じた小型ビークルが出展されており、実用化

に向けての開発が進んでいるものと思われる。

本学においてはオープンキャンパス等において主に高校生に対して試乗体験を通して自動車に対する興味向上を図る取り組みをしている。その一環として、本学でも小型のコミュニティビークルを保有する必要があると感じた。また、自動車と地球温暖化などの問題が密接に関係しており、環境問題に対しても意識を高めてもらうために、これまでもいくつか製作しているソーラビークルの製作を行うこととした¹⁾。

マイクロカーについては、本学でも二種類の光岡自動車製マイクロカーを購入して教育に活用している。これらを運転すると、背が高く乗り降りがしやすいタイプでは特に旋回時の安定性に不満を感じる。背の低いスポーツタイプでは旋回時の安定性は申し分ないが、乗降性が非常に悪い。したがって、両者の良い点を取り入れた乗り降りがしやすく、かつ、旋回時も安定した走行ができるものはないかとの思いを永らく抱いていた。

本研究では、乗降時と走行時で車両姿勢が変化する変形式小型ソーラビークルを製作し、変形前と変形後の操作性、乗降性、車両安定性能について実験を行い、それぞれの関係性を評価・考察する。

2. 基本レイアウトとフレーム製作

図 2-1 に、基本レイアウトを示す。上側はドライバが乗り降りを行うための乗降モード、下側はドライバが車両を運転するための走行モードである。乗降モードでは、イスに腰か

*2015年8月6日受理、第47回全国自動車短期大学協会研究発表会において発表

1)・2) 徳島工業短期大学(779-0108 徳島県板野郡板野町犬伏蓮花谷 100)

けるようにして座り，ドライバの操作等によって走行モードへ変形する。乗降時に，ステアリングが邪魔にならないように可動式とし，ひざ辺りのスペースを確保している。また，ルーフ（ソーラパネル付）を可動式とし，頭部への配慮も行っている。この基本レイアウトと基にフレームを製作した。

図 2-2 に，製作したフレームを示す。基本レイアウトを基にフレームを製作した。動力ユニットであるモータは，スイングアームに固定され，減速機を介して後輪を駆動する。フロント，リヤ・サスペンションは共に車軸懸架式とし，スプリングとダンパの代わりに，フロント側で山形防振ゴムを，リヤ側で市販されている作業用イスのガスステーを用いた。この製作したフレーム上に FRP 製ボディを架装し，ボディとする。

表 2-1 に，動力ユニットの諸元を，表 2-2 に，バッテリーの諸元を示す。動力ユニットはモータ出力 270W のシニアカーに搭載されているものを使用する。バッテリーは，長時間の運転にも対応できるようにシニアカーに搭載されている標準のバッテリーよりも大きな容量のものを選択した。

図 2-3 に，乗降モードから走行モードへの変形の様子を示す。シート部と背もたれ部にロープをまいて一時的に乗車できるようにして変形動作を確認した。ガスステーのレバーを引くことによってドライバの体重で乗降モードから走行モードへ変形するようになっている。

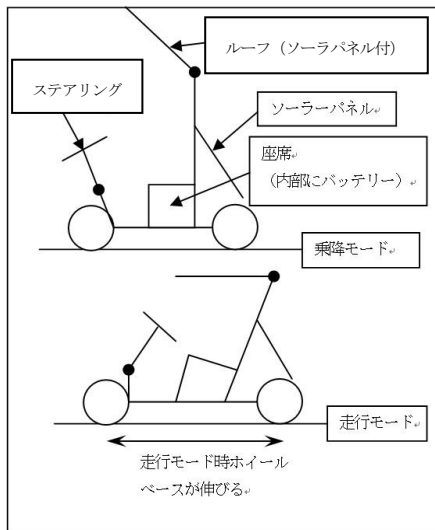


図 2-1 基本レイアウト



図 2-2 フレーム 乗降モード (左)，走行モード (右)

表 2-1 動力ユニットの諸元

型式	WT-T4G	
サイズ (全長×全幅×全高)	1040×550×900 mm	
モータ (30 分定格出力)	DC24V 270W	
駆動方式	後輪直接駆動方式 (デフ付)	
制動方式	モータ発電制動および電磁ブレーキ	
最高速度	前進	1-6 km/h
	後退	1-2 km/h

表 2-2 バッテリーの諸元

製造メーカー	台湾製 LONG
型式	U1-36NE
サイズ (全長×全幅×全高)	197×131×159 mm
重量	11.3 kg
定格電圧	12 V
定格容量	36 Ah (20 時間率)
最大充電電流	10.8 A
搭載個数	2



図 2-3 乗降モードから走行モードへの変形

図 2-4 に，ルーフパネル取付ロッドと電装部品の取付部分を示す。ルーフパネルを取付けるためのロッドをボディへ溶接した。このロッドは上部先端に溶接によりカラーを固定した。また，座席下にはバッテリーを，スイングアーム上にはコントロール・ユニットなどの制御装置を取付けるためのパネルをフレームに固定した。ステアリングには，速度コントローラと全開スイッチを取付ける。

3. ボディ製作と電装部品取付

3.1. ボディ製作

図 3-1 に，シートとボディを示す。これらは FRP で製作され，フレーム全体を囲う形状となっている。シート部はカート用シート形状を基本として運転時のホールディング性向上を目指した。製作方法を次に示す。まず，エキスパンドメタルでシートとボディ形状をデザインする。その裏面にガムテープを貼り付ける。その上から FRP を巻く。エキスパンドメタルを用いたことにより，かなり複雑な形状のものを製作することができた。このほかに，ルーフやフロントパネルとステアリングポスト (図 3-2) などを製作した。

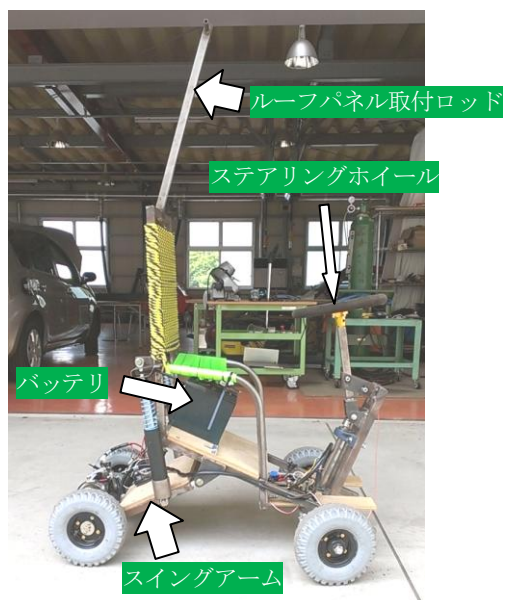


図 2-4 ルーフパネル取付ロッドと電装部品の取付部分

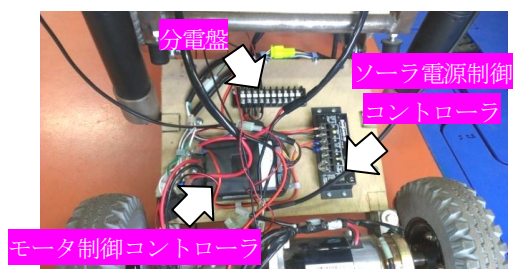


図 3-3 スイングアーム上の制御装置



図 3-4 スタータスイッチ



図 3-1 シートとボディ



図 3-5(a) ソーラパネル付ルーフ (上面)



図 3-2 ステアリングポスト



図 3-5(b) ルーフ内張り加工

3.2 電装部品取付

図 3-3 に、制御装置の取付状態を示す。スイングアームに取付けたパネル上にモータ制御コントローラ、ソーラ電源制御コントローラ、分電盤を取付けた。

図 3-4 に、スタータスイッチを示す。スタータスイッチは接点式で、ステアリングシャフトブラケットに取付けられ、ステアリングコラムを運転席方向に倒すことでアクセル操作が可能になる。走行中にステアリングを前方に倒すとアクセル信号が OFF 状態となり、電磁ブレーキのみが作動する。そのブレーキによって車両は速やかに停止することになり、安全が保たれる構造となっている。

図 3-5(a)にルーフパネルを示す。ルーフパネルはボディ同様 FRP で製作した。太陽光が最も当たる部分であることもあり、出力 50W 相当のフレキシブルソーラパネルを取付けた。ルーフパネルの内側は見栄えを良くするために布貼りとし、その外周は市販のモールで整えられている (図 3-5(b))。

図 3-6 に、ステアリングに取付けた速度コントローラと全開スイッチ、バッテリー残量メータを示す。速度コントローラはステアリング下に取付けた。そのコントローラは可変抵抗を用いており、右側のボタンを押し込むと前進し、左側のボタンを押し込むと後退する。左右ボタンの押込量によって速度を調整できる。全開スイッチは前進方向へ最大速度で走行するためのボタンである。バッテリー残量メータはバッテリーの残量を表示する。

図 3-7 に、完成した車両を示す。フロント部にアクリルで風防を取付けた。ルーフパネル取付ロッドはドライバの頭部保護のため、スポンジによって覆われている。シート部は真四角のスポンジが配置され、前方への滑りを抑制した。その車両の諸元を表 3-1 に示す。

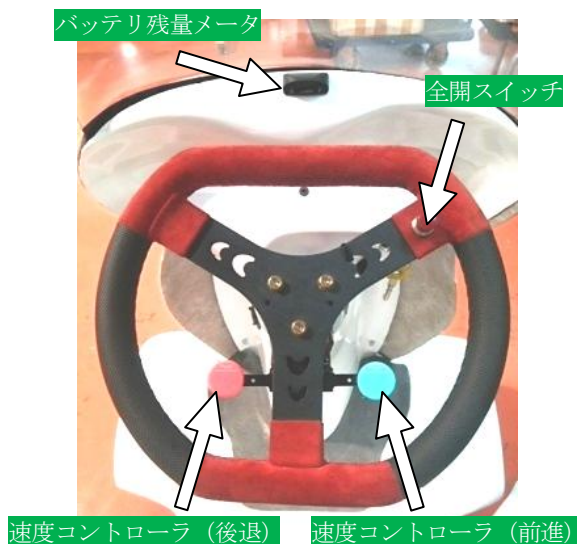


図 3-6 速度コントローラと残量メータ



乗降モード 走行モード

図 3-7 完成車両

表 3-1 車両諸元

	乗降モード	走行モード
ホイールベース(mm)	740	820
トレッド前(mm)	620	
トレッド後(mm)	485	
車両重量(kgf)	94	
前輪重量(kgf)	52	41
後輪重量(kgf)	41	53
タイヤ有効半径(mm)	125	
フロントキャンパ角(°)	0	0
フロントキャスト角(°)	-10	10

表 4-1 乗降性実験結果

	日産ノート		日産デュアリス	
	乗車	降車	乗車	降車
学生	3.0	3.0	2.7	2.2
教職員	3.0	3.0	2.9	3.1

	小型ソーラビークル 乗降モード		小型ソーラビークル 走行モード	
	乗車	降車	乗車	降車
学生	2.3	2.3	2.1	1.8
教職員	2.6	2.6	2.3	1.8

表 4-2 評価車両のシートとフロア高さ (単位: mm)

	シート 高さ	フロア 高さ	相対 高さ
日産ノート	530	280	250
日産 デュアリス	650	330	320
小型ソーラビークル 乗降モード	600	220	380
小型ソーラビークル 走行モード	430	170	260

4. 性能試験

4.1 乗降性試験

乗降性に対する評価を、次の方法によって実施した。

- ①日産ノートに乗降し、この車両の乗降のしやすさを基準 (3 点) とする。
- ②日産デュアリスに乗降し、この車両の乗降のしやすさを評価する。
- ③今回製作した小型ソーラビークルの変形前と変形後に乗降し、この車両の乗降のしやすさを評価する。

評価は日産ノートと比較する相対評価を行う。その評価基準は少し良い (悪い) ならば +0.5 点 (-0.5 点)、良い (悪い) ならば +1.0 点 (-1.0 点)、とても良い (悪い) ならば +1.5 点 (-1.5 点) とした。

表 4-1 に、乗降性実験結果を示す。被験者は身長 160 ~ 175 cm の 16 名で、学生 8 名と教職員 8 名を対象とした。日産ノートの乗降性を基準値 3.0 として日産デュアリス、小型ソーラビークルの乗降性を評価した。日産ノートと日産デュアリス

は、学生の降車評価を除いてそれぞれ近い値となっている。小型ソーラビークル乗降モードは、基準車に対して少し悪いという評価となった。対して、小型ソーラビークル走行モードは、乗車降車ともに悪いという評価となった。

表 4-2 に、評価車両の地面からのシート高さ、フロア高さ、そして、シートとフロアの相対高さを示す。日産ノートは標準的なコンパクトカータイプで、日産デュアリスは少し背の高い SUV タイプである。日産ノートを基準にそれぞれ比較すると、シート高さ、フロア高さともに日産デュアリスが高く、その相対高さも大きい。小型ソーラビークル乗降モードでは、シート高さは高いがフロア高さは低い。小型ソーラビークル走行モードでは、シート高さ、フロア高さともに低い。

表 4-1 と表 4-2 より、日産デュアリスは、シートとフロアがともに高いため、乗降性が少し悪いということがわかる。小型ソーラビークル乗降モードは、シート高さが少し高いもののフロア高さが低いため乗降性に問題はないという意見が多かったが、足場が狭いことが評価を下げる要因となった。小型ソーラビークル走行モードは、シートとフロアの高さがともに低いため、乗るときは尻もちをつくような状態で乗り込み、降りるときは体を前に傾けなければ降りづらいため、乗降性が悪いという結果となった。また、シート両サイドにポケットシートのような出っ張りがさらに降りにくくしている要因のひとつであった。

図 4-1 に、小型ソーラビークルの走行モード時の降車動作を示す。座った状態から路面に足を着地させ、体を前に傾けながら持ち上げる様子がわかる。

図 4-2 に、日産ノートの乗降動作を示す。路面に足をついてシートに座ったとき、ひざの折曲がり角度が約 90°となっている。

図 4-1 と図 4-2 を比較すると、図 4-1 でのひざの折曲がり角度は足を路面についた状態では約 70°で体を起こして降りる動作となったときに 90°となる。このような違いから乗降性に大きな差が生じたと考えられる。

4.2 車両安定性試験

図 4-3 に、重心算出のための前後軸重測定の様子を示す。軸重の測定には Longacre 製 COMPUTERSCALES の乗用車用輪重計を使用した。この輪重計は車輪 1 つに対して 1 つのロードセル（水平なパッド）を配置し、4 輪を独立して測定することができる。ひとつのロードセル当たり 1500 kgf の重量を測定でき、表示精度は±1 kgf である。測定場所は傾き角が 0°の平坦な場所を選択した。実験は車両が水平状態の場合と車両前輪が 78.5 mm 上がった場合で、乗降と走行モード両方を行う。

表 4-3 に、前軸を持ち上げたときの前後軸重測定の実験結果を示す。括弧内の数値は車両が水平状態の場合を示す。この実験結果より、次の式を用いて重心位置を求めた。



図 4-1 走行モード時の降車動作



図 4-2 日産ノートの乗降動作

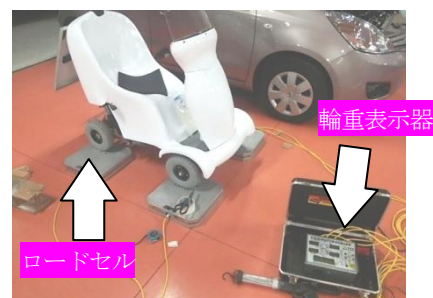
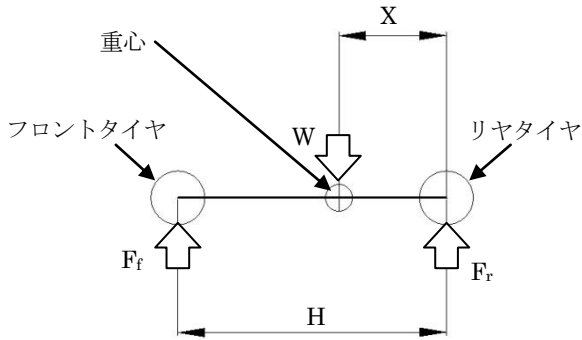


図 4-3 前後軸重の測定

表 4-3 前後軸重測定の実験結果 (単位 : kgf)

	乗降モード	走行モード
前軸重	48 (52)	38 (41)
後軸重	46 (41)	56 (53)

・後輪から重心までの長さ X



W : 車両重量, F_f : 前軸重量, F_r : 後軸重量

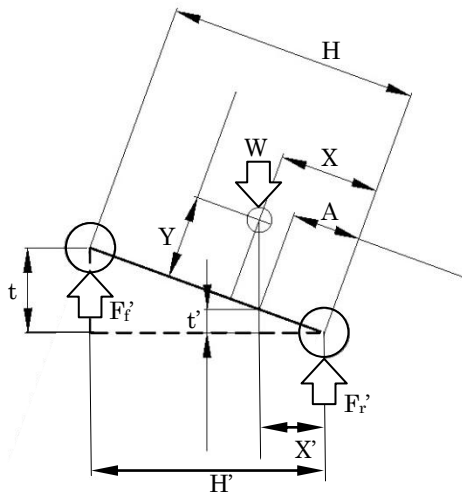
H : ホイールベース, X : 後輪から重心までの長さ

M : モーメント

$$M = F_f \cdot H - W \cdot X = 0$$

$$X = \frac{F_f \cdot H}{W}$$

・後輪から重心までの水平長さ X'



W : 車両重量, F'_f : 前軸重量, F'_r : 後軸重量

H' : 前輪から後輪までの水平長さ, X' : 後輪から重心までの長さ, M' : モーメント

$$H^2 = t^2 + H'^2$$

$$H' = \sqrt{H^2 - t^2}$$

$$M' = F'_f \cdot H' - W \cdot X' = 0$$

$$X' = \frac{F'_f \cdot H'}{W}$$

$$X' : H' = t : t$$

$$t' = \frac{x' \cdot t}{H'}$$

$$A^2 = t'^2 + x'^2$$

$$A = \sqrt{t'^2 + x'^2}$$

$$\tan \theta = \frac{t'}{x'}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{t'}{x'} \right)$$

$$\tan \theta = \frac{X-A}{Y}$$

$$Y = (X - A) \tan \theta$$

表 4-4 に, X 軸と Y 軸の重心長さを示す. 車両水平状態において, X 軸は後輪軸中心からの横方向軸で, Y 軸はタイヤ中心からの縦方向軸である. この重心位置はバッテリーの中心に近い位置にあり, 今回製作した小型ソーラビークルはバッテリーの高さによって重心位置が変化することがわかった. また, 製作車両の重量が 94 kgf で, これにドライバの体重が加わると, 重心位置がさらに上昇することが考えられる.

図 4-4 に, 動的車両安定性の実験の様子を示す. 被験者は学生と教員を含む 8 名を対象とした. 実験には 8 の字走行と段差乗り越え走行で評価した. 8 の字走行実験はポールを 2 つ用意し, その周囲を走行する. 評価方法は走行モードにおける旋回時と切り返し時の車両安定性を基準とし, 乗降モードでのその安定性を相対的に評価する. また, 片輪段差乗り越え走行実験は直進時と旋回時に外側の車輪で 15mm の段差を乗り越えたときの安定性を評価する. この実験においても走行モードにおける車両安定性を基準とし, 乗降モードでのその安定性を相対評価する.

表 4-4 重心位置 (単位 : mm)

	乗降モード	走行モード
X 軸長さ	391	357
Y 軸長さ	364	272



図 4-4 動的車両安定性実験 (8 の字走行)

表 4-5 に、動的車両安定性の実験評価結果を示す。評価基準は乗降性の時と同じである。8 の字走行実験において、旋回時は走行モードと乗降モードでは大きな相違はなかった。対して、切り返し時は乗降モードの重心位置が高いためか、ハンドルを曲げたときに少しふらつくことにより、安定性が少し悪いという評価結果が得られた。次に、段差乗越え走行実験では、直進時、旋回時で両モードにおける相違は見られなかった。

表 4-6 に、両モードにおいて 20 mm の段差を真っ直ぐに降りるもしくは登る実験とその段差を斜めに降りるもしくは登る実験の評価結果を示す。評価基準は 15 mm の段差走行実験と同じである。乗降モードにおいて車両安定性が少し悪いという評価となった。これは、走行モードと乗降モードで足廻りのアライメントが異なることで、ステアリングが取られやすくなったためと考えられる。乗降モードと走行モードではフレームの角度が変化するため、走行モードで 10° のキャスト角であったものが乗降モードで -10° となり、直進安定性が低下したと考えられる。

4.3 操作性評価実験

乗降モードと走行モードにおける操作性の評価実験を行った。被験者は学生と教員を含む 8 名を対象とした。実験は、ポールを 2 つ用意してその周囲を 8 の字走行してもらい、運転のしやすさを評価する。その結果、次のような意見が得られた。

- (1)ステアリング操作はどちらも問題なくスムーズにできる。
- (2)走行モードでは旋回時にシートが体を支えてくれるのでぶれが少ない。
- (3)乗降モードでは周りを見渡すことができるので運転しやすい。
- (4)乗降モードではシートが立ちすぎており、体が少し前に倒れ込むので、制動時などで怖い。
- (5)走行モードに比べて乗降モードは旋回半径が大きい。
- (6)ステアリング操作がクイックすぎる。
- (7)乗降モードは頭とステアリングの角度が悪い。

表 4-5 動的車両安定性の実験評価結果

		走行モード	乗降モード
8 の字	旋回	3.0	3.0
	切り返し	3.0	2.8
段差乗越え	直進	3.0	3.0
	旋回	3.0	3.0

表 4-6 20mm 段差の実験評価結果

		走行モード	乗降モード
直進	登る	3.0	2.8
	降りる	3.0	2.9
斜め	登る	3.0	2.6
	降りる	3.0	2.7

(3)に関しては、変形による視点の高さが影響していると考えられる。身長 170 cm のドライバーにおいて各モードで視点の高さを測定してみると、走行モードは 1150 mm であるのに対し、乗降モードは 1320 mm であった。この結果から、視界の見え方だけで言えば、走行モードはセダンを、乗降モードでは SUV を運転しているように感じていると考えられる。

(5)に関しては、乗降モードのほうが小さいホイールベースになっているにも関わらず、走行モードよりも旋回半径が大きくなるという意見が得られた。実際に旋回半径を測定してみると、走行モードでは 1700 mm であるのに対し、乗降モードでは、2200 mm であった。これはフロントタイヤのアライメントが走行モードにおいてアッカーマン・ジャント式のアライメントとなるように設計されており、乗降モードでそのアライメントが変わったためと考えられる。

4.4 操作性・乗降性・車両安定性の関係

操作性・乗降性・車両安定性を比較すると下記にまとめられる。

- (1) 操作性は意見が分かれた。走行モードが良いと答えた人は普段運転している自動車のように運転できるということが大きな理由であったと考えられる。乗降モードが良いと答えた人は周りを見渡せるので運転しやすいことが評価されたためと考えられる。
- (2) 乗降性は乗降モードの方が良い。走行モードでは地面からのシートが低すぎることや、シートの両サイド部に出っ張りがあることが評価点を下げる要因となったと考えられる。
- (3) 車両安定性は、重心の位置が低いほうが安定するのに加えて適切なアライメントとなっているため、走行モードが良い結果となった。乗降モードでは段差を登った場合にキックバックが大きく感じられることが影響したためと考えられる。

4.5 走行時の電力バランス

完成車両の動力性能の検討および試験を行った。完成車両の全開走行に必要な出力 P は、乗員の体重を含めた車両総重量を 1500 N、平坦との走行抵抗係数を 0.015、車両最高速度を 6 km/h = 1.67 m/s として、次の式で求められる。

$$P = 1500 \times 0.015 \times 1.67 = 37.6 \text{ [W]}$$

また、ソーラパネルの出力 P_s は、ソーラパネルの定格出力 80 W に対して発電量を 80 %、ソーラチャージャの変換効率を 80 %、動力伝達効率を 75 % として、次の式で求められる。

$$P_s = 80 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.75 = 38.4 \text{ [W]}$$

結論として、晴れた日の平坦路であればソーラパネルの発電だけで走行することができると考えられる。

実際に快晴時の平坦路の走行試験を行った結果、バッテリーを消費すること無く走行できることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、変形式小型ソーラビークルを製作し、変形前と変形後の操縦性、乗降性、車両安定性能について実験を行い、それぞれの関係性を評価・考察した。

評価実験の結果に関しては乗降モードと走行モードで乗降性や車両安定性に相違が見られ、製作当初から予想していた性能となった。

また、数名ではあるが、本学学生に試乗体験してもらったところ、変形機構がおもしろいなどの意見が得られた。この評価はオープンキャンパスに参加した高校生にも同様の意見が得られる可能性を感じさせた。

謝辞

本研究の遂行にあたり「社団法人 東京自動車技術普及協会」からの助成金を賜りましたことに記して、感謝の意を表します。また、このたび、評価実験に協力していただいた教職員、学生の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

(1) 福栄堅治, 他 3 名: 学童教育用ソーラーカーの設計・製作, 自動車整備技術に関する研究報告誌, Vol.41, p.34-39 (2002)