

車両(チョイノリEVということにする)の駆動条件を表2-1に示します。

(1) 走行抵抗を計算する

まず走行抵抗を考えなくてはなりません。抵抗は幾つかありますが、ここでは特に重要な、①「転がり抵抗」 R_r と②「空気抵抗」 R_a の2つに限って計算します。転がり抵抗の定義から、

転がり抵抗 R_r = 転がり抵抗係数 μ_r × 車両総重量 W です(単位はN)。数値を入れると

$$R_r \text{ (N)} = 0.015 \times 100 \times 9.8 = 14.7 \text{ (N)}$$

になります。次に空気抵抗の定義から、

$$\text{空気抵抗 } R_a = 1/2 \times \text{空気抵抗係数 } C_d \times \text{空気密度 } \rho \times \text{前影投影面積 } A \times (\text{速度})^2$$

なので、

$$R_a \text{ (N)} = 1/2 \times 0.96 \times 1.2 \times 0.6 \times 50/3.6 \times 50/3.6 = 77.7 \text{ (N)} \rightarrow 66.7$$

になります。よって走行抵抗合計は

$$R_r + R_a = 14.7 + 66.7 = 82.4 \text{ (N)}$$

になります。

(2) 平地巡航50km/hに要する動力=必要電力計算

走行抵抗が決まりました。車両が動くためには、走行抵抗以上の力が必要です。EVでは、それを電力で供給することになります。

$$\text{必要電力 } P = \text{走行抵抗 (N)} \times \text{速度 (m/s)}$$

なので、

$$P = 82.4 \text{ (N)} \times (50/3.6) = 1131 \text{ (W)}$$

つまり約1.1kWを50km/h走行時相当の回転速度で発生できれば計算上では巡航可能となります。

● 駆動に必要な動力計算をする——登坂走行時

登坂性能の目標は17%勾配の坂を20km/hで走行可能としました。

(1) 登坂時の走行抵抗を計算する

上記と同様に走行抵抗を計算します。

転がり抵抗 14.7 (N) …これは前記と同じ

空気抵抗 10.7 (N)

これに「勾配抵抗」 R_c が加わります。

$$\text{勾配抵抗 } R_c = \text{車両総重量 (N)} \times \sin \theta \text{ (°)}$$

なので、

$$R_c = 100 \times 9.8 \times \sin(9.65) = 164 \text{ (N)}$$

になります。総走行抵抗 R は

$$R = 14.7 + 10.7 + 164 = 189.4 \text{ (N)}$$

(2) 登坂に必要な電力

必要電力 P は同様に

$$P = 189.4 \times (20/3.6) = 1053 \text{ (W)}$$

となります。

● 登坂走行開始時にはトルクが必要

登坂走行時は、転がり抵抗に勾配抵抗が加わります。勾配抵抗は、車重(重力)の路面方向の分解力です。勾配抵抗は、勾配(傾斜度)が大きいほど急激に

表2-1 モータに要求される条件を考えるためのパラメータ一覧

車体総重量 (kg)	100	
前影投影面積 (m ²)	0.6	
空気抵抗係数 (C_d)	0.96	
空気密度 ρ (kg/m ³)	1.2	
転がり抵抗係数	0.015	
加速条件	初速 (km/h)	0
	終速 (km/h)	50
	時間 (秒)	10
最高速度 (km/h)	50	
登坂路斜度 (%)	17	
登坂路斜度 (deg)	9.65	
登坂速度 (km/h)	20	
登坂加速条件	初速 (km/h)	0
	終速 (km/h)	20
	時間 (秒)	5
平地タイヤ回転速度 (rpm)	660	
登坂タイヤ回転速度 (rpm)	264	
タイヤ半径 (m)	0.201	

※パラメータは一部推測による仮値です

増えていきます。ある勾配(傾斜)以上になると、勾配抵抗は転がり抵抗よりもずっと大きくなります。

17%の勾配を20km/hで上るのに必要な力は、上記計算結果の1053Wですが、坂が登れるかどうかは、車両のパワー(仕事率)ではなく、車輪に掛かるトルク(回転力)が重要になってきます。より正確に言うるとタイヤの駆動力です。駆動力とトルクの関係は、

$$\text{タイヤの駆動力} = \text{トルク} \div \text{タイヤ半径}$$

です。

● タイヤ軸トルクの計算

20km/hでの登坂速度でのタイヤの回転速度は264rpmです。タイヤ回転速度264rpmで、モータは1053Wを出力しなければなりません。そこで、タイヤ軸トルクを計算します。出力とトルクの関係式

$$\text{出力 (W)}$$

$$= 0.1047 \times \text{トルク (Nm)} \times \text{回転速度 (rpm)}$$

から、1053Wを264rpmで発生させるトルク T は、

$$T = 1053 / 0.1047 / 264 = 38.1 \text{ (N)}$$

となります。

その他に走行抵抗としては「加速抵抗」というものもありますが、今回は初級編ということでのんびり走ることを前提に無視して進めたいと思います(加速には意外に電力を必要とする)。

■ 2.2 モータの仕様検討

さて、大まかな動力計算ができました。次はこの要求性能を実現するモータの巻き線仕様や減速比を求めます。

(3) モータへの要求特性を定める

モータの回転速度が決まったことで、冒頭の計算結果に戻ります。モータの回転速度から、出力とトルクを求めます。

① 平地走行でのモータ要求特性

モータ 3812rpm : 出力 ~~1444~~¹¹³¹W, トルク 3Nm 以上

② 登坂走行でのモータ要求特性

モータ 1525rpm : 出力 1053W, トルク 6.6Nm 以上となりました。

いずれも、タイヤ所要トルクを減速比 5.777 で割った値がモータ・トルクです。

(4) 巻き線仕様を決める

次に上記特性を可能にするモータ特性を探しました。筆者らには、キット・モータを使ったいろいろな巻き線仕様のデータがあります。この中で使えそうなものを探したところ、

φ 1.1 × 23 T × 2 直列 × 3 並列

がヒットしました。そのときのモータ特性図 (48V 時) を図 2-1 に示します。ただし、このデータはモータ開発初期のもので現在とはマグネットの特性が若干異なります。とはいえ、大きな差はないので参考にしました。

実際にこの仕様でモータを製作して特性を取ってみることにします。

■ 2.4 モータの製作と検証

● モータの特性を測定する

実際に、キット・モータを上記条件で巻き直し、特性を測定した結果を表 2-3 に示します。

この特性と上記計算結果を検証してみます。

① 平地走行のモータ

回転速度 : 3812rpm 時

出力 : ~~1444~~¹¹³¹W

トルク : ~~3~~^{2.83}Nm 以上

② 登坂走行のモータ

回転速度 : 1525rpm 時

出力 : 1053W

トルク : 6.6Nm 以上

● 平地走行での特性を検証する

平地走行については、実測で 4099rpm 時のトルクが 4.95 Nm なので目標特性への対応可能です (モータ特性は、駆動電圧が同じで回転速度が下がると電流が増加するので、トルクは上がる)。

この表では、もう少し速度が出る可能性があります

表 2-3 図 2-1 仕様で製作したモータの特性測定結果

チョイノリ速度 (km/h)	58.0	56.8	55.6	54.3	53.2	51.9	50.7	49.5
電流値 I (A)	1.34	9.4	14.2	18.9	23.3	42.5	47.8	52
回転速度 N (rpm)	4807	4703	4603	4502	4405	4301	4203	4099
トルク T (kgcm)	0	8.47	13.16	17.96	23.27	41.84	46.73	50.51
トルク (Nm)	0	0.83	1.29	1.76	2.28	4.10	4.58	4.95
出力 (W)	0	409	622	830	1052	1846	2016	2125
効率 (%)	0	90.6	91.2	91.5	91.7	90.5	87.8	85.1
電流密度	0.5	3.5	5.2	7.0	8.8	15.7	17.6	19.2
タイヤ回転速度	832	814	797	779	763	745	728	710

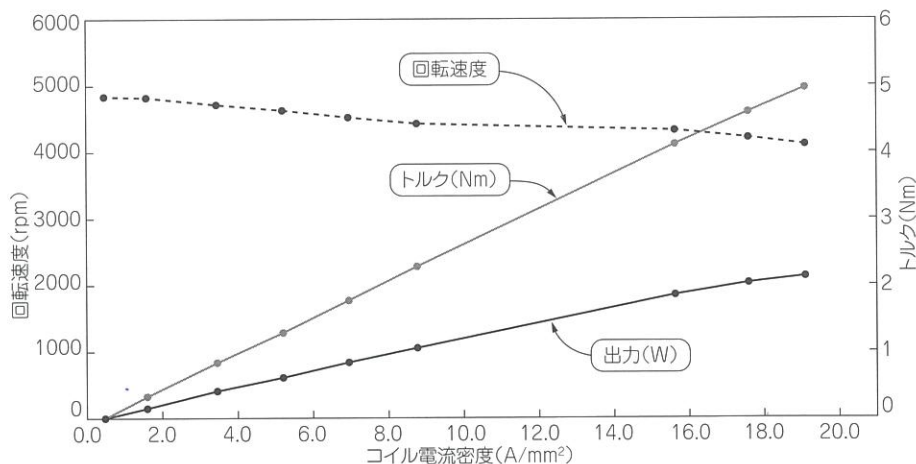


図 2-2 想定モータの電流密度との特性をチェックする

す。

ただし、上記特性表にある電流密度の値に注意しなければなりません。電流密度とは、コイルに流れる電流(相電流)の密度(A/mm²)になり、コイル発熱を考える指標になります。

一般的に無冷却のコイルでは、「電流密度は10くらいが連続使用の目安」です。実力は13～15くらい(H種の線を使った場合)が限界です。連続走行ではなく、短時間であればもう少し流せます。

● 平地走行は発熱が心配だが目標特性を満足する

上記の特性データから電流密度を基準にした回転速度と出力のグラフを作ってみます(図2-2)。

図2-2からいろいろなことが分かります。連続使用OKの指標である電流密度10の時を見てみると

回転速度 : 4450rpm

出力 : 1200W

トルク : 2.65Nm 程度

であることが分かります。平地走行の目標トルク3Nmは、電流密度11.5、回転速度4400rpmくらいなので目標を上回ります。

よって平地走行時に若干コイル温度が高めになる可能性はありますが目標達成可能と判断しました。

● 登坂走行でのモータ特性を検証する

次に登坂性能です。一般にモータ設定ではこちらの方が厳しくなります。見てみましょう。狙いは

回転速度 : 1525rpm時

出力 : 1053W

トルク : 6.6Nm以上

でした。ここで注意すべきは、登坂時はアクセル全開ではなく20km/hという想定だということです。つまり、

アクセル全開 = PWM デューティ 100%

ではありません。このあたりは、今回使用予定のケリーのコントローラでは自動でやってくれるのですが、「相電流制御」というものがあります。これは、コントローラのパワー素子(MOSFET)の保護やモータ・コイルの焼損防止の目的でモータ・コイルに流す電流を制限します。

想定した17%勾配の坂を登るのに必要なモータ・トルクは6.6Nmでした。この値は実測データを基に推測すると約70Aの電源電流(相電流で49A程度)となります。ケリーのコントローラで相電流の上限をそれ以上の設定をすれば可能な値ですが、電流密度の観点からは極短時間での使用に限られます。

ただし、速度が20km/hと低速で上るので、出力電

力が1053Wと比較的小さいため「実力でかなり頑張れるかな」^{注1}と推測しこれに決めました。

やや登坂性能に不安が残りますが、17%の坂はかなり急なので(ちなみに鈴鹿サーキットの最大勾配は7.8%)、この設定で進めることにしました。

3. コンバート作業の手順

では、「チョイノリ(スズキ製)」の車体を実際にEV化していく手順を示していきましょう。

(1) ベース車両の入手

まずは、当然のことながらベースとなる車両を用意します。今回は「スズキ・チョイノリ」と決めています。チョイノリは、発売期間が2003年～2007年と短いのですが、安価だったのでかなり多くの台数が市場に出たと思われます。

◆ エンジンは動かなくてよいが事故車は使わない!

友人から、すでに動かなくなっている車両を譲り受けるのもいいですし、中古市場あるいはオークション・サイトから購入するのもよいでしょう。エンジンは使いませんから、動かないバイクでいいのです。

ただし、事故車は選ぶべきではありません。シャーシ・フレームなどに(見えなくても)損傷があるかもしれない、EV化しても危険性は解消できません。

◆ 12,000円で動かなくなったチョイノリを購入

筆者は、これまでにチョイノリを5台ほどEVにコンバートしていますが、今回の作業で使った「チョイノリ」は12,000円で購入したエンジン不動車でした(写真3-1)。

写真では分かりにくいかもしれませんが、かなり汚かったです。チェーンも錆び付いていて酷い状態でしたが(写真3-2)、スプロケットとともに交換するので、



写真3-1 ベース車両の購入時の中古チョイノリ

注1: モータ出力1053W時の効率が仮に70%だと仮定すると「入力: 1504W, 損失: 451W」となる。これだと、全てモータ発熱だと仮定しても、短時間なら可能と推測した。