

# ハイブリッド車における大電流接続部の信頼性確保に関する研究\*

渡部 賢<sup>1)</sup>

脇田 喜之<sup>2)</sup>

## A Study of Reliability on the Terminal with Large Current on Hybrid Electric Vehicles

Masaru Watabe

Yoshiyuki Wakita

In this paper, we discuss a voltage drop on terminals between a battery and an inverter unit in a Hybrid Electric Vehicle. The characteristics of voltage drop which is affected by binding torque of terminal, size of a contact area, scratches and pollution of a surface condition is measured. Therefore, following results are obtained; (1) larger than 4 (Nm) of binding torques are enough to suppress a voltage drop, (2) a voltage drop is indifferent to surface condition of a terminal because voltage drop (and resistivity) is inversely proportional to cross section of a current.

Key Words: Binding Torque of Terminal, Voltage Drop, Hybrid Electric Vehicle

### 1. はじめに

近年の地球温暖化問題に始まり、2008年の石油高騰を期に、ハイブリッド車は高い社会的関心を集めるようになった。1997年から販売が開始されたハイブリッド車は、これまで主な一車種のみが普及していたが、本年に至っては他社の参入により、普及に大きな弾みがつくと予想されている。これにより、整備業界においてもハイブリッド車の整備技術の需要が増すことは明らかである。

ハイブリッド車と従来車との整備上の重要な差異は、バッテリー、インバータ、モータの交換はもちろんだが、これらを繋ぐ大電流の電力ケーブルを接続する作業がその要点となることである。従来車のハーネスにおいても接続部の接触抵抗は重要な点検項目であったが、大電流を扱うハイブリッド車において、その重要性はさらに増している。

本稿では、ハイブリッド車における大電流接続部の締結作業において、接続端子の締め付けトルクや端子の接触面積、端子の表面状態などの各種条件を変えた場合、端子間の電圧降下に与える影響について評価を行なう。これにより、大電流接続部の信頼性を確保するための、作業上の注意点等について検討を行う。

### 2. 実験の概要

本研究では、ハイブリッド車のバッテリーユニットやインバ

ータユニットの交換作業における、接続端子の信頼性の評価を対象としている。一般的に、インバータユニットとバッテリー、インバータユニットとモータを接続するパワーケーブルは、安全性および信頼性を配慮した専用コネクタを採用している。しかし、本報告では研究の初期段階として評価が容易であるように、平型端子をネジで締結する構造を対象に実験を行う。なお、バッテリーユニットとパワーケーブルの締結部分や、インバータユニット内のコネクタ部と内部回路の締結部分には、本実験と同様の平型端子が使用されている。

実験系の外観を Fig.1 に、回路図を Fig.2 に示す。2個の平型端子は、配電用のスズメッキ端子を使用し、M8 のボルトナットで締結している。締結トルクが接続部の電圧降下へ与える影響を配慮するため、締結にはトルクレンチを使用している。端子は、直流安定化電源装置、電流計、負荷が接続されており、端子電流が約 40(A) となるように調整されている。

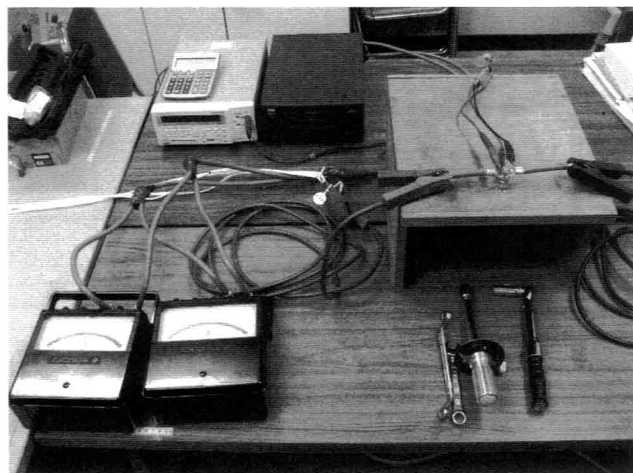


Fig.1 Overview of the Experimental System

\*2009年8月6日受理。第41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) 新潟工業短期大学 自動車工業科 (950-2076 新潟県新潟市西区上新栄町 5-13-7)

この2個の端子間の電圧降下の測定値が低いほど、接続部の信頼性が高いものとして評価を行なう。

なお、端子間の電圧降下は非常に小さいため、多少の接触状態の変化で測定が不安定となる。そこで両端子の端子部とカシメ部の境界付近に電圧降下測定用のピンを設け、このピン間の電圧降下を測定している。また、この電圧降下はおよそ 1mV のオーダーであり、各種条件を変化させた場合の端子間電圧降下の変動量はわずか 0.01mV 台程度であるため、電圧計には高精度タイプのモデルを使用している。

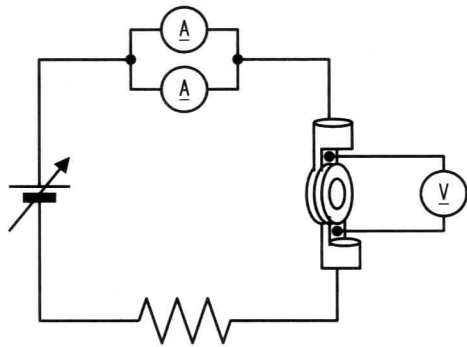


Fig.2 The Experimental Circuit

### 3. 実験結果

#### 3.1. 端子の締め付けトルクの影響

一般的に、接続端子の接触面の平面度や接触抵抗などの問題により、接続端子は単に固定するだけでなく、一定以上の締め付けトルクで締結する必要があると考えられている。そこで、端子の締め付けトルクに対する、端子間電圧降下の変化について測定を行なった。測定結果を Fig. 3 に示す。

結果より、締め付けトルクがおおよそ 2~4(Nm) 程度で電圧降下は一定の値に収束することが確認された。

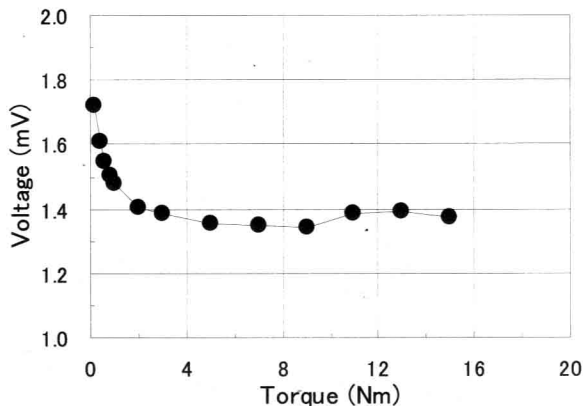


Fig.3 Voltage Drop of a binding torque

#### 3.2. 端子の接触面積の影響

市販されている接続端子は、様々なサイズの物が用意されており、この端子の接触面の面積に対する、端子間電圧降下の変化について検討が必要と考えられる。そこで3種類の端子サイズに対する、端子間電圧降下の変化について測定を行なった。なお、接触面の面積以外の条件（電線やカシメ部の径）が変わらないように、同一サイズの接続端子の接続部を切削して、異なるサイズ端子を作成した。また、一方の端子は常に最大サイズとし、これに接続されるもう一方の端子を各々3つのサイズに取り替えて測定を行なった。測定に用いた3種類の端子の概観と接触面の面積を Fig. 4, Table. 1 に、測定結果を Fig. 5 に示す。

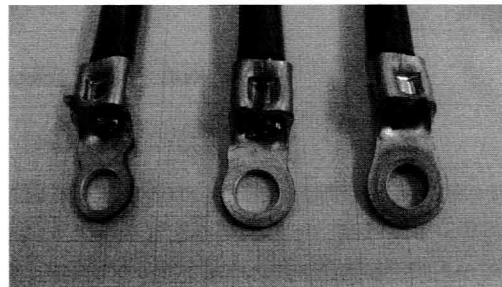


Fig.4 Terminal Size

Table.1 Contact Area and Ratio of Terminals

Size	Contact Area	ratio
Large	159.6 mm <sup>2</sup>	100.0 %
Middle	109.5 mm <sup>2</sup>	68.6 %
Small	67.9 mm <sup>2</sup>	42.5 %

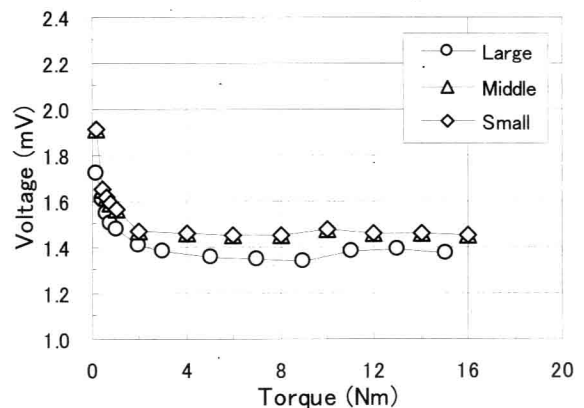


Fig.5 Voltage Drop of a Binding Torque with Terminal Size

電気工学では、端子間の電圧降下（あるいは抵抗）は、電流の流れる方向の断面積に反比例することが知られている。このことを実験結果と照らし合わせると、端子サイズ Middle は Large のおおよそ 2/3 倍、Small は Large のおおよそ 2/5 の接触

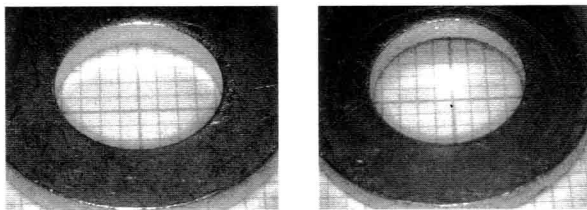
面積であるが、端子間の電圧降下はこれに反比例しておらず、せいぜい 110%程度である。このことから、電圧降下に寄与する断面積とは、端子の接触面の面積ではなく、端子の厚み方向の断面積であることが予想される。そこで第 4 章では、接続端子の外形寸法から断面積、端子間抵抗、電流 40(A)における電圧降下を数値計算し、この測定結果の評価を行なう。

### 3.3. 接触面の表面状態の影響

通常では、車両の寿命期間内において、大電流接続部は何回かの脱着作業を受けることになる。当然ながら、脱着作業の際に端子面は大なり小なり傷を受けるため、その影響について検討が必要と考えられる。

脱着作業の繰り返しによる端子面の接触状態の変化について、配慮する必要性の有無の検討のため、脱着回数 20 回までの、締め付けトルクに対する、端子間電圧降下の変化について測定を行なった。未使用の電極と、脱着回数 20 回の端子表面の拡大写真を Fig. 6 に、測定結果を Fig. 7 に示す。

結果より、測定値の多少のバラツキは見られるものの、脱着回数による有意の差は認められなかった。



(a) 0 times (b) 20th times

Fig.6 Condition of the Terminal with Repetition

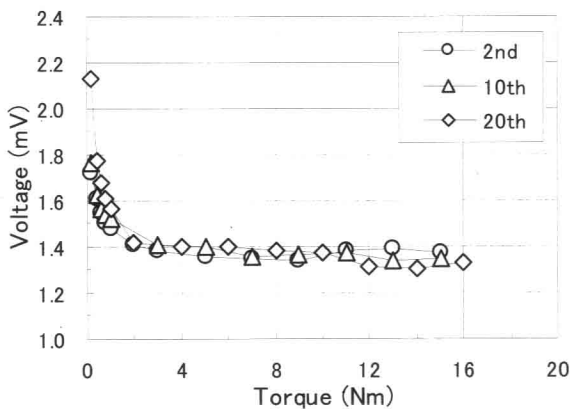


Fig.7 Voltage Drop of a Binding Torque with Repetition

また、ワーストケースとして、端子の接触面に工具による損傷を受けた場合や、エンジンオイルが付着した場合に、端子間電圧降下が悪化するかどうかについても検討を行なった。た

だし、端子の締結状態については、Fig. 8 の写真に示す二つの端子を、傷のある面を向かい合わせ、お互いの傷が直交する方向に向きを合わせて締結した。測定結果を Fig. 9 に示す。

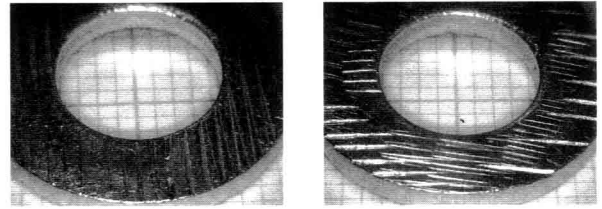


Fig.8 Scratch on a Surface of Terminals

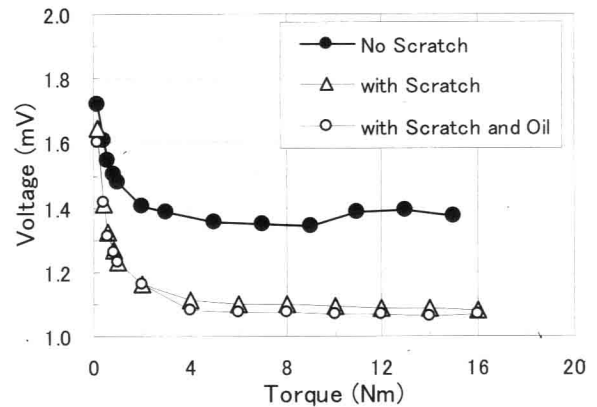


Fig.9 Voltage Drop of a Binding Torque with Terminal Surface Condition

脱着作業の繰り返し実験の 2 回目の結果と比較して、多少ではあるが、明らかに端子間電圧降下が低下している。すなわち、損傷やオイル汚れによる端子面の接触状態の悪化とは反する結果となっている。この原因としては、端子表面に損傷を与える際に、他の部位（端子部の平面度やカシメ部など）に電氣的損失を低減するような変形を及ぼしてしまい、トータルとして端子間電圧降下が低下した可能性が考えられる。しかし、悪化原因より向上要因が上回ったことから、Fig. 8 に見られる程度の端子面の損傷は、端子間電圧降下にさほど影響を与えないとも言える。

今後は、端子表面の傷の影響のみを評価できるように、実験方法の工夫を行なっていく予定である。

### 4. 端子の断面積に関する評価

3.2 節における、端子面積に対する端子間電圧降下の変化に関する実験結果より、電圧降下に寄与する断面積とは、端子の接触面の面積ではなく、端子の厚み方向の断面積であることが予想された。そこで、Fig. 10 のような接続端子の電氣的モデルを想定して、端子の外形寸法から断面積、端子間抵抗、

電流 40(A)における電圧降下を数値計算する。

Fig. 10 のように、ネジ穴の中心を原点、電流の流れる方向を  $x$  とし、座標  $x$  における断面積を  $A(x)$  とする。微小長さ  $\Delta x$  における抵抗  $\Delta R(x)$  は、抵抗率  $\rho$  から以下の式で導かれる。

$$\Delta R(x) = \rho \frac{\Delta x}{A(x)}$$

よって抵抗値は、 $A(x)$  を実測して上式に代入し、 $\Delta R(x)$  を  $x$  について数値積分することにより求められる。

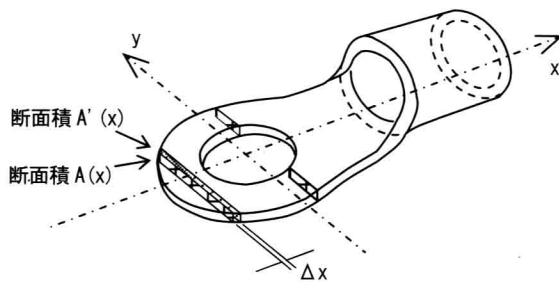


Fig.10 Resistivity Model of Terminal

実際には、最大サイズの端子と各サイズの端子を向かい合わせて接続した際の断面積を  $A(x)$  として代入し、この  $\Delta R(x)$  を両側の電圧降下測定端子（端子部とカシメ部の境界）の間  $x=-12.0\sim 12.0\text{mm}$  で数値積分することにより、端子間抵抗を計算し、40(A)の電流における電圧降下を求めた。計算結果を Table. 2 に示す。

Table.2 Calculation Result of Voltage Drop

Size	Voltage Drop	Ratio
Large	0.5506 mV	100.0 %
Middle	0.5939 mV	107.9 %
Small	0.6434 mV	116.9 %

Fig. 5 と Fig. 11 を比較すると、電圧降下の計算結果は、測定結果のほぼ 1/2 倍となり、桁のオーダーは一致するものの、比較的大きな誤差が生じている。しかし、接続端子のサイズに対する電圧降下の比率は、測定結果ときわめて近い傾向を示している。

この事より、接続端子間の電圧降下は、接触面の面積にはあまり強い影響は受けないと考えられる。同様の考察から、3.3 節の測定結果に関しても、接触面の表面状態に対して、端子間の電圧降下はあまり強い影響は受けないと考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、ハイブリッド車における大電流接続部の締結作業において、接続端子の締め付けトルクや端子の接触面積、端子の表面状態などの各種条件を変えた場合、端子間の電圧降下に与える影響について実験および数値計算をおこなった。その結果、以下の 2 点が明らかとなった。(1) 実験に使用した接続端子においては、約 4(Nm) 以上の締め付けトルクで締結すれば、接続部の信頼性は十分確保できることが分かった。(2) 接続端子の接触面積や、接触面の表面状態などは、端子間電圧降下にあまり強い影響は与えないことが分かった。

今後は、接触面の表面状態の影響において、より精度の高い実験を行なう方法について検討を行う予定である。また、今回は直流電流についてのみ実験を行なったが、今後はインバータとモータの接続部における交流電流も想定した実験を行なっていく予定である。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり「財団法人 東京自動車技術普及協会」の助成金を頂きましたことに感謝の意を表します。また、研究の前段階において、斉藤義明 前学長より、貴重なアイデアや実験系の構成などに多大なご助力を頂いたことにお礼を申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) (社)日本自動車整備振興会連合会 編：一級自動車整備士自動車新技術, (社)日本自動車整備振興会連合会, 2008, p. 11-36.
- (2) トヨタ自動車(株) 編：トヨタ プリウス 修理書／追補版 NHW11, (2000)
- (3) トヨタ自動車(株) 編：トヨタ プリウス 配線図集 NHW10, NHW11, (2000)