

バッテリー式電気自動車の電費性能について

Electric Power Consumption Performance of Battery Electric Vehicles

井本 伸*1

Shin IMOTO

1. はじめに

走行時にCO₂を排出しないバッテリー式電気自動車(BEV)は、2017年末現在において世界で保有台数180万台を超えたり、今後も環境保護の規制が強まる傾向であるためBEVの割合も増加し続けることが予想される。BEVの割合が増加した場合電力の消費量も当然多くなる。発電には様々な方式があり、それらが組み合わされて利用されているが、主要な発電方式の1つである火力発電では、CO₂を排出するため、BEVの電力消費量が少ないほど発電所のCO₂排出量は少なくなり地球環境保護に有効である。このことからBEVの電力消費率を検討することは重要である。

電力消費率はBEVの性能指標の1つであり、電費(単位はWh/km)としばしば呼ばれる。これは、単位走行距離当たりの消費電力でありBEVの性能を表す。電費においてカタログ値として示されるものは交流電力量消費率であり、1回の充電で走行できる距離と、再充電時に商用電源からバッテリーに供給された電力量の比である。本稿では以後AC(交流)電費と呼ぶ。AC電費は充電効率(バッテリー効率+充電器効率)まで含めたBEVとしての電費性能を表している。一方、走行のためにバッテリーが消費した電力量とその消費時間内に走行した距離の比をDC(直流)電費と呼ぶ。DC電費は充電効率は考慮されず、モータ・インバータ効率やギヤ効率が支配的な電費である。本稿では、BEVの電費に着目し、供試BEVの実験走行データとともに今後のBEVの電費性能向上の課題を明確にする。

2. 供試 BEV を用いた走行性能試験概要

供試BEVを用いて4WDシャシダイナモメータ(以下、C/D)による走行性能試験を実施した。Table 1に車両諸元を、Table 2に取得したデータおよび計

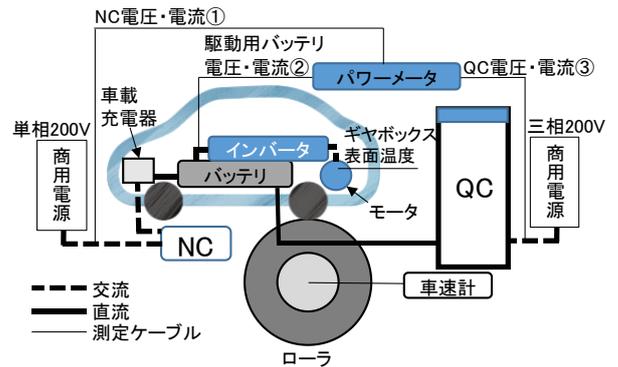
測方法を、Fig. 1に試験装置概略図および充電効率の定義を示す。本試験では駆動用バッテリーに充電する際、普通充電器(以下、NC)と急速充電器(以下、QC)を用いてAC電費の比較を行った。

Table 1 Specifications of BEV

| 試験車両 | | BEV |
|-------|---------------|----------------|
| 車両 | 全長×全幅×全高, mm | 3395×1475×1610 |
| | ホイールベース, mm | 2550 |
| | 車両重量, kg | 1070 |
| | 駆動方式 | 2WD(後輪駆動) |
| モータ | 最高出力, kW | 30 |
| | 最大トルク N・m/rpm | 180/0~1000 |
| バッテリー | 総電力量, kWh | 10.5 |

Table 2 Measured data and method

| | 測定データ | 測定方法 |
|--------|---------------|----------|
| 車両側 | バッテリー電流 | パワーメータ |
| | バッテリー電圧 | パワーメータ |
| | ギヤボックス表面温度 | 熱電対 |
| 普通充電器側 | AC200V 単相電源電流 | パワーメータ |
| | AC200V 単相電源電圧 | パワーメータ |
| 急速充電器側 | AC200V 三相電源電流 | パワーメータ |
| | AC200V 三相電源電圧 | パワーメータ |
| | 車速 | C/D(車速計) |



$$\text{NCを用いた際の充電効率} = \frac{\text{バッテリー電力量(②)}}{\text{NCIによる充電電力量(①)}} \times 100 [\%]$$

$$\text{QCを用いた際の充電効率} = \frac{\text{バッテリー電力量(②)}}{\text{QCIによる充電電力量(③)}} \times 100 [\%]$$

Fig. 1 Test equipment and definition of charger efficiencies

*1 一般財団法人日本自動車研究所 電動モビリティ研究部

3. DC 電費

車速、暖機条件によるDC電費の違いを明確にするため、一定速度走行試験、4種のモード走行試験、暖機前(Cold条件)走行試験および暖気後(Hot条件)走行試験を行った。

3.1 一定速度走行試験

10 km/h~120 km/hまで10 km/h刻みで5秒間の一定速度走行試験を行った。その結果をFig. 2に示す。Fig. 2から供試BEVのDC電費は車速20 ~30 km/hが最も良いことがわかる。一定速度走行では走行抵抗と同等の駆動力が要求される。主な走行抵抗は転がり抵抗と空気抵抗である。空気抵抗は車速の2乗に比例して増加するため、車速が高い領域はDC電費が悪くなる傾向にある。一方、車速が低い領域はモータ・インバータの総合効率が落ちるため、車速10 km/hのDC電費は20 ~30 km/hよりも悪化したと考えられる。

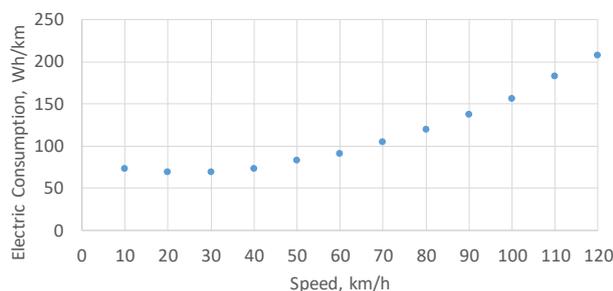


Fig. 2 Electric consumption (steady state speed)

3.2 モード走行試験

JC08, LA#4, NEDC, WLTC(Ex.Hなし)の4種類のモードを走行し、その時のDC電費を測定した。各走行サイクルの車速および電力をFig. 3からFig. 6に、各モードの最高速度、平均車速、サイクル時間および試験結果をTable 3に示す。Table 3より最高速度が最も低いJC08のDC電費が最も良く、最高速度が最も高いNEDCのDC電費が最も悪いことがわかる。JC08が最も電費が良いのは、JC08は最高速度(81.6 km/h)が最も低く、かつ平均車速が供試BEVのDC電費が最も良い車速25 km/h付近であることから、JC08が最もDC電費が良いという結果となったと考えられる。NEDCが最もDC電費が悪い

のは、NEDCではWLTCに対して最高速度が20 km/h以上高く、DC電費が悪化する高車速での走行が影響していると考えられる。(従って、平均車速がDC電費の最も良い車速に近いほどDC電費が良く、高負荷走行がDC電費を大きく悪化させる)。

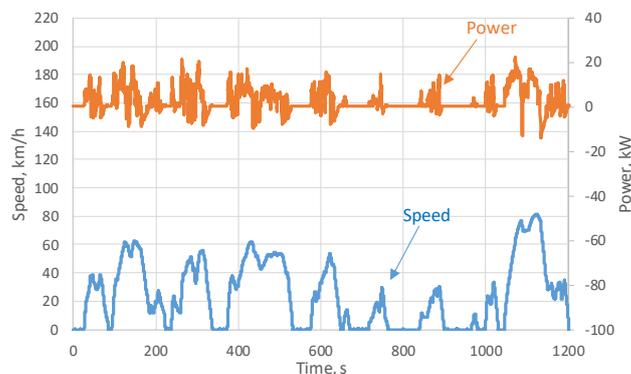


Fig. 3 Electric power consumption of JC08 mode

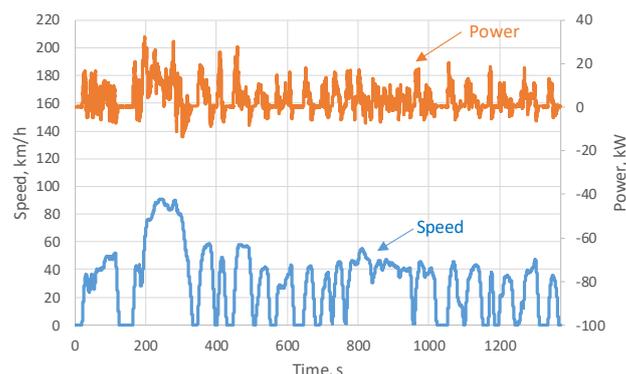


Fig. 4 Electric power consumption of LA#4 mode

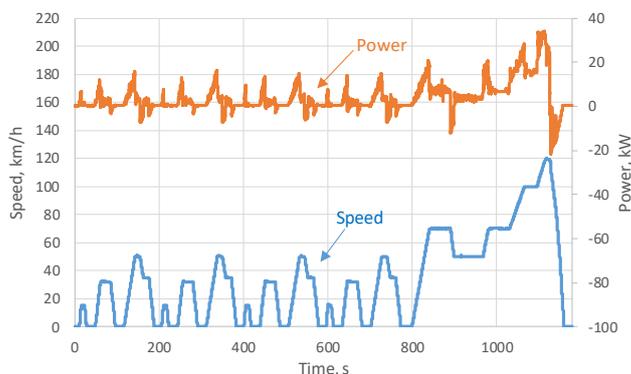


Fig. 5 Electric power consumption of NEDC mode

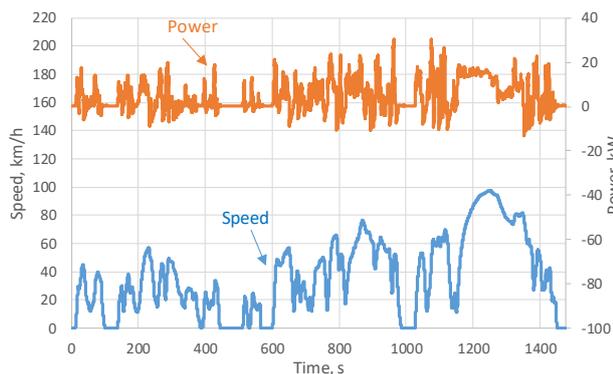


Fig. 6 Electric power consumption of WLTC mode

Table 3 Electric consumption (DC) of test cycles

| | JC08 | LA#4 | NEDC | WLTC |
|-------------|------|------|-------|------|
| 最高速度, km/h | 81.6 | 91.2 | 120.0 | 97.4 |
| 平均車速, km/h | 24.4 | 31.5 | 33.6 | 36.6 |
| サイクル時間, s | 1204 | 1369 | 1180 | 1477 |
| DC電費, Wh/km | 107 | 117 | 121 | 120 |

3.3 暖機条件の違いによる DC 電費の差異

Cold条件ではギヤオイルの温度が低いため粘度が高く抵抗が大きい。そのためHot条件のときよりもDC電費が悪化する。本試験では、ギヤボックス表面に熱電対を貼り付けてギヤボックス表面温度(以下、ギヤ温度)を測定した。Table 4にWLTCをCold 1回、続けてHotで3回走行した際のDC電費を示す。Coldの方がHotのときと比べてDC電費が0.8~1 Wh/km(0.7~0.8%)悪化していることがわかる。また、Hotにおいても人がアクセルペダルを操作しモードを走行する際のばらつきの影響等でDC電費が変化するが、その差は、0.2 Wh/km (0.2%)であった。これらの結果から、DC電費はギヤ温度が40±5°C内のHot条件におけるばらつきよりも、暖機条件の違いによる影響が大きいことがわかった。上記の結果を考慮すると、例えば、わずかな電費向上を複数回測定して確認する場合(DC電費を1%以下の単位で計測したい場合など)にはギヤ温度が40±5°Cまで暖機するなど、暖機条件を統一することが望ましいと考えられる。

Table 4 Electric consumption (DC) of WLTC cycles

| | DC電費, Wh/km | 車両の状態 | 走行開始時のギヤ温度, °C |
|---|-------------|-------|----------------|
| 1 | 120.8 | Cold | 23.8 |
| 2 | 119.8 | Hot | 35.8 |
| 3 | 120.0 | Hot | 41.0 |
| 4 | 119.8 | Hot | 43.5 |

4. 交流電力量消費率 (AC 電費)

Test Requirements and Instructions for Automobile Standards(TRIAS)の試験法において電費は交流電力量消費率と定義され、商用電源からの再充電電気エネルギー(以下、 E_{AC})と純電気航続距離(以下、PER)から算出される。この方法により算出されるAC電費は、充電効率を含んだ電費となる。すなわちバッテリーや充電器の性能によってBEVのAC電費が異なる結果になる。

本試験は供試BEVを満充電状態まで充電した後TRIAS 08-002-02 燃料消費率試験(WLTCモード)に従い、短縮法を用いてWLTCの目標車速に対して2 km/h以上の乖離が生じるまで走行後、再度満充電になるまで充電を行った。充電はNCのみとQC+NCを用いた2条件で実施した。このとき、QC+NCの場合はQCが100%の充電状態を示すまでQCで充電した後、NCで車両が満充電状態を示すまで充電を実施した。なお、本試験ではFig. 1に定義したように充電効率を算出した。

Fig. 7にQC+NCの電力波形、Fig. 8にNCの電力波形を示す。Fig. 7に示すQCによる充電において電力が途中で落ちているのは、車両の仕様でSOC(State of Charge : 充電状態)が85%時点で充電終了判定となるためである。Fig. 8に示すNCによる充電中に9000秒地点で電力が落ちているのは車両の仕様である。

Table 5にQC+NCによる充電およびNCによる充電におけるAC電費を示す。Table 5からNCのみよりQC+NCを用いて再充電した方がAC電費は2%向上していることがわかる。これはNCのみで充電した際の充電効率が85.2%であるのに対して、QC+NCを用いて充電した際の充電効率は90.6%と高効率で充電できたためである。QC+NCの方が高

効率である理由は、QCによる充電効率が91.2%とNCよりも高く、QCによる充電とNCによる充電の電力量比が9：1であったためである。

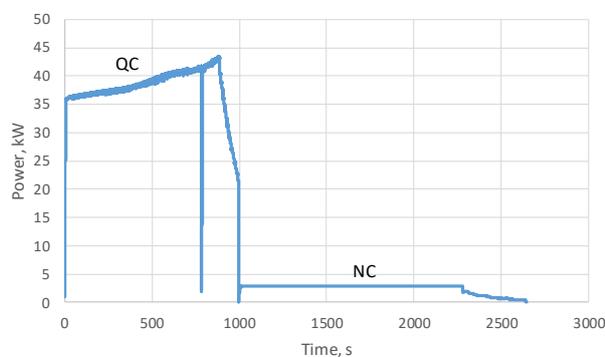


Fig. 7 Quick and Normal recharging power

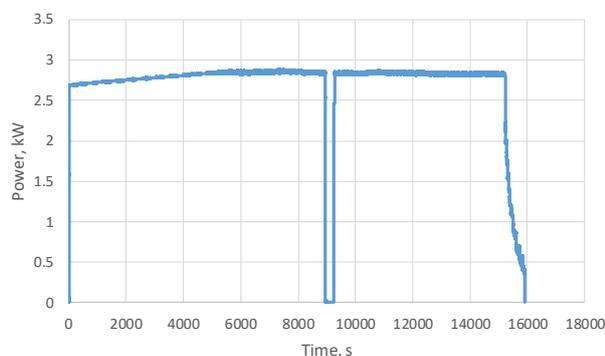


Fig. 8 Normal recharging power

Table 5 Electric consumption (AC) with QC and NC

| | 充電器 | PER km | E _{AC} Wh | AC電費 Wh/km | 充電 効率, % |
|-------|-------|-----------|-----------------------|---------------|-------------|
| 急速充電+ | QC | | 10415 | | 91.2 |
| 普通充電 | NC | | 1111 | | 85.1 |
| 計 | QC+NC | 83.3 | 11526 | 138 | 90.6 |
| 普通充電 | NC | 83.2 | 11838 | 142 | 85.2 |

5. まとめ

BEVの電費性能向上における課題を明確にするため実際に供試BEVのモード走行試験を実施し電費性能を調査した。

(1) BEVの10～120 km/hの一定速度走行におけるDC電費については、車速25 km/h付近が最も良いことがわかった。これは、車速の高い領域では空気抵抗が速度の2乗に比例するためDC電費が大幅に悪化し、車速の低い領域ではモータ・インバータの総合効率が低くなるためと考えられる。

(2) JC08, LA#4, NEDC, WLTC(Ex.Hなし)の4種類のモード走行におけるDC電費については、JC08が最もよくNEDCが最も悪い結果となった。供試BEVのDC電費が最も良いのが車速25 km/h付近であり、高速度になるほど電費が悪化することから、モード平均車速(24.4 km/h)および最高速度(81.6 km/h)が4種のモードの中で最も低いJC08が最もDC電費が良いという結果となった。一方で、WLTCよりも20 km/h以上最高速度が高いNEDCが最もDC電費が悪い結果と考えられる。

(3) AC電費については、QC+NC充電の方がNCのみで充電したときよりも2%良い結果となった。NCのみによる充電の際の充電効率85.2%に対してQCによる充電の際の充電効率が91.2%と高いためである。

以上の結果から、BEVの電費性能を向上させるための主な課題として車両の走行抵抗力の低減、低速領域におけるモータ・インバータ高効率領域の拡大、暖機時間短縮、充電効率向上のためのNC充電器の効率改善が必須であることが明確となった。今後はバッテリー冷却方式の異なるBEV、定電圧充電時間が長い充電制御を行うBEVや普通充電時の充電電流値をユーザが設定できるBEVなどの充電時挙動の異なる車両についても評価していきたい。

参考文献

- 1) International Energy Agency : Global EV Outlook 2018, <https://www.iea.org/gevo2018> (2019.1)