

芦屋大学論叢 第85号

(令和8年3月22日)抜刷

《研究ノート》

充電制御車における充電挙動と
鉛バッテリー寿命向上策の検討

齋 藤 治

《研究ノート》

充電制御車における充電挙動と鉛バッテリー寿命向上策の検討

齋 藤 治

芦屋大学経営教育学部教授

1. はじめに

本稿は、筆者が芦屋大学論叢第 78 号（2023 年 3 月）^[1] へ投稿をした自動車用鉛 Battery での常時充電システム設置後での、その後の鉛バッテリー状態の劣化進行¹⁾や走行推移に伴う、新たに判明した充電不足に関する原因事象とその鉛バッテリーの延命対策について論じる。

筆者が前回投稿をした付加装置は、いわゆる鉛バッテリーが満充電後にあると便利となる待機電流消費の補充としてのトリクル充電装置²⁾についての装置導入と運用状況を紹介した。毎日の実走行後での満充電に至るまで、補充電を怠ることによる鉛バッテリーでの容量減少、その積算に伴うバッテリー劣化状況は、微少なトリクル充電電流分だけでは補いきれていないのが現状であった。特に走行終了時での鉛バッテリー容量不足状態を打開するためには、新たな車載鉛バッテリー充電をするための装置（通常充電器などを含む）が必要であることが判明をしている。

筆者は、ECU³⁾が制御をする充電制御の電圧制御は、当初、走行終了時には、ほぼ満充電状態となって終了していると思っていた。ところがその実態は、エンジン始動後の走行開始後、車載 ECU が鉛バッテリー電圧や CT センサ⁴⁾電流の監視によって、鉛バッテリーの残存容量を推定するサンプリングを行ったのち、鉛バッテリー残存容量がほぼ 90%程度となるようにオルタネータ⁵⁾の発生電圧制御を行い、エンジン停止時には鉛バッテリーは満充電状態にはなっていないことが、その後での車載電圧計（写真 1）を設置したことにより判明した。



写真 1 5桁電圧計

筆者が鉛バッテリーの残存容量が 90%相当と推定した理由は、毎走行終了時、ボンネットを開けてバッテリー充電をする電流値と時間との関係から、判断をした。

また、実走行時でのこれらバッテリー容量推定での ECU 制御による充電制御は、エンジンブレーキ状態（いわゆる減速時や下り坂）でのバッテリーへの充電電流増加が予想される挙動とは異なり、アクセル ON、すなわち加速時にて充電電流が増加する観測現象を示したことに、ECU 制御での残念なシステム設計部分を垣間見た。

本来の良心的な充電制御の設計ならば、減速時には、力学的エネルギーを鉛バッテリーへ充電エネルギーの還元をし、少しでも燃費向上をするエコな設計であると思っていたが、どうやら充電制御の仕組みは、そのような設計にはなっていなかったようだ。

筆者が毎日乗車をしている鉛式車載バッテリーでは、トリクル充電の付加装置をつけた補充電電流程度では、結局 2 年程度も経過せずに車載鉛バッテリー残存容量が 50%程度しか蓄えられないサルフェーション⁶⁾を内部電極内に発生させ、メーカー推奨の交換周期どおりのバッテリー寿命を迎えることとなった。

昨今の自動車救援シーンでは、JAF が公表している救援原因^[2]として、車載バッテリートラブルが第 1 位となっている。車載トラブルとして、脱輪、パンクやキー閉じ込めといったものから、電気系での、特に車載バッテリーによる問題が大きく躍り出ているのが現状である。

本稿では、自動車搭載のバッテリーにかかる過酷な電気消費状態であることを立証するものであるとともに、アイドリングストップ車が信号待ちを終えて交差点からのエンジン始動が出来ない、といった突然のバッテリー上がりなどの現象も、背景には、こうした充電制御車で、根本的な設計見直しに相当する事案が含まれているものと筆者は考察をしている。

2. 充電制御車で充電の挙動

2.1 エンジン停止時における車載バッテリー非満充電状態

冒頭で少し触れたが、筆者が使用する ECU の充電挙動は、大体、下記のとおりである。

2.1.1 エンジン始動直後の約 3～5 分程度までの状況

筆者の乗用車は、アイドリングストップ機能はついておらず、普通の充電制御をするタイプの車種となっている。エンジンが冷えた状態からのエンジンアイドリング回転数は、約 2000 rpm を少し下回る程度であり、鉛バッテリーが満充電状態であった場合、始動後のバッテリー電圧は大体 14.0 V～14.3 V 程度の間を示していることが多かった。ただし、ヘッドライトやフォグライト点灯、エアコン動作などを含む負荷電流が比較的大きい時では、前述の 14.0 V より約 0.2～0.5 V 程度、ドロップした電圧値を表示していた。エンジン始動直後は、セルモータ負荷電流放電後の充電のため、比較的高い制御電圧がオルタネータへ印加されている模様である。

2.1.2 エンジン始動後の走行開始時（エンジン始動後約 1～2 分後）での電圧状況

走行のためにエンジン負荷が加わることで、バッテリー電圧はエンジン回転数とともに目まぐるしく変動をする。基本的には、エンジン始動時での電圧をスタート電圧のベースとして、回転数などに応じて上下をするようである。筆者の運転傾向からバッテリー電圧変動値傾向としてわかることは、アクセルを軽く踏むことによって、エンジン負荷がかかりだすことで、基本的にはバッテリー電圧は上昇傾向となる。ただし、3000 rpm を超えるような早い回転数では、バッテリー電圧は逆に少し下降傾向を示し、13.5 V 程度前後まで下がることもあった。

2.1.3 エンジン始動後、約 5 分を超えたあたりからの鉛バッテリー電圧状況

比較的定速走行状態、いわゆるエンジン回転数が 2000 rpm 程度の負荷状態にあるにもかかわらず、バッテリー電圧値が急に下がりだすことが観測された。具体的には 12.5 V や、もっと低電圧値の 11.7 V など、約 1 秒間程度の短い時間にて数回示す挙動が見受けられた。これは、エンジン回転数には何ら関係なく、明らかに ECU がバッテリー電圧や CT 電流センサ情報を参照して、オルタネータの発電発生電圧を意図的にドロップさせて、何らかの鉛バッテリー状態を測定していることに起因する現象だと筆者は確信をしている。

2.1.4 エンジン始動後の約 10 分後でも同様の計測挙動

前述の ECU が測定する現象は、5 分後の鉛バッテリー容量計測動作を経て、もう 1 度、約 10 分後程度に、同様の現象が再現される。つまり、鉛バッテリーがどの程度の残存容量があるかどうか、どうやら 2～3 回程度の測定の間で、ECU によって何らかの制御と判断をしているようである。

2.1.5 走行開始 20 分程度以降でのバッテリー電圧の挙動

バッテリー電圧は走行状態，すなわち加速や減速によって逐次変動があつて，決して一定電圧を保っていることはないが，2.1.2 で示したように，減速時では充電電圧は下降傾向，加速時では，大体 1600 rpm 程度の回転数の時に，概ね充電電圧が高くなる傾向が観測されている。

つまり，筆者の自動車で充電電圧を最大化されるためのエンジン走行回転数では，加速時に 2000 rpm を超えない程度のエンジン回転数にて，バッテリー充電電圧が上昇することが判明しており，走行中での車載バッテリー充電量動作の最大の寄与のためには，ある特定のエンジン回転数ポイント，加減速アクセルポジションなどに注意することにより充電量増大の可能性があることがわかった。

2.2 ECU が制御するオルタネータの制御電圧

2.2.1 オルタネータの発電制御電圧 S 端子

オルタネータの内部構造は別途，専門の設計構造資料に譲るとして，オルタネータが発生する電圧を制御する S 端子が，事実上，発電電圧をコントロールしていることになっている。ECU は，バッテリー電圧やバッテリー充電電流測定を検出する CT センサの値を元に，オルタネータが走行時での充電電圧を発生させるため，S 端子へオルタネータへの発生電圧を都度，ECU からの印加制御，指示をしているのがその原理である。

2.2.2 CT センサを取り外した際の ECU 制御挙動

オルタネータの発生電圧値設定を誤ると，過充電や充電不足を招き，どちらもバッテリー状態には問題を生じる。バッテリー電圧は，オルタネータ発電容量以上の過負荷の際にはバッテリーからの放電がある状態であっても，過負荷から抜けた復帰後には，適正な充電状態へ戻ることが望ましく，その手法こそが，ECU が得意とする充電制御プログラムによるバッテリー状態管理，ということとなる。ただ，2.1 に示したバッテリー容量の推定として基本データとなるバッテリー放電電流値，その時のバッテリー電圧値は，おそらく ECU 内部でのバッテリー残容量データベース照合後，いずれかの電圧をオルタネータの S 端子に印加した電圧で充電制御電圧を制御していると思われる。バッテリー端子のケーブルをくぐらせた CT センサコネクタを外すことにより，バッテリー負荷電流測定が不能となり，ECU の挙動は，放電電流測定が不能，というエラーを生じされることにより，オルタネータの S 端子電圧制御が，一定電圧制御モードへ遷移されることになる。

すなわち，意図的にバッテリー CT センサーコネクタを取り外して稼働されることにより，ECU による強制的なオルタネータでの最大充電電圧範囲にて充電動作をさせるモードとして運用することで，バッテリー電圧が最大 14.5 V 台を超えない範囲にて，適宜，オルタネータの発電電圧を調整してくれる。

2.2.3 CT センサコネクタには，バッテリー温度センサも装着

CT センサコネクタを外した状態でエンジン ON とすると，車種によっては，CT センサエラーとなって運転警告灯が点灯するものもあり，定電圧制御充電モードができないものがある。筆者の場合は，警告灯は点灯しなかったため，この動作での運転は可能であった。ただし，ODB II コネクタによる車両診断コードには，バッテリーセンサ不良（未接続）により放電電流が -150 A の状態，またバッテリー温度センサ不良が記録されている。このセンサーエラーを解除するためには，元のとおり CT センサーコネクタを装着すれば解決するが，それでは，2.2.2 による定電圧モードによるオルタネータ充電はできない。

2.2.4 CT コネクタ端子の保護など

CT コネクタを取り外しての運用は、ECU 本来での機能をそぎ落として運用するスタイルであり、ODB II 接続時でのエラー対策時では車両検査時での現況復帰が必要となる。その際には、コネクタ端末の電気信号ピン汚れ防止などのため、端末防水テープ加工は必備である。

充電制御車の制御電圧コントロールは ECU 内部プログラムにあり、ユーザによる対応は独自制御として不可能であるため、走行時での充電電圧監視を含めた安全なパッチとしては、CT コネクタの取り外しての ECU セーフティモード⁷⁾ による運用が可能ならば、推奨ができる。

2.2.5 オルタネータ S 端子接続可能性への検討

他の方法としては、独自にオルタネータの S 端子に加わる電圧そのものを工夫して充電電圧を制御する方法もある。ただし、これは車両系全体に関わる電源電圧制御の根幹をダイレクトに操作する、ある意味、電圧安全装置を外しての運用となりかねないので、お薦めはできない。過剰な充電電圧が ECU へ印加されるなどの過電圧状態、あるいは、充電電圧不足の設定では、バッテリー寿命そのものに大きな影響を与えかねない事案であり、2.2.4 のような簡便な方法で解決ができない場合、もっと違う角度での対策アプローチを検討する必要がある。

3. 走行後での満充電のための補充電システム導入とその設計指針

3.1 走行充電で不足した鉛バッテリーへの充電システム

走行時での充電挙動は 2.2 で示したような、CT センサの取り外しにより、車両走行時ではオルタネータへの S 端子制御電圧が概ねほぼ満充電領域に向かう動作となってきた。無負荷時での満充電に近い状態のバッテリー状態では、通常走行時でのバッテリー電圧は、14.2 V～14.4 V 間を行き来するような範囲に大体収まっている。基本的には、13.6 V を超えていれば車載バッテリーは充電状態といわれているが、鉛バッテリーの満充電電圧というのは充電器では 14.6 V 程度が設定されていて、この電圧であっても、鉛バッテリーの電極からの水素の発生は、それほど出ていない状態となっている。

バッテリーの各セルが均等な状態となっているのなら、14.6 V での電圧は充電終了電圧としては理想値となっているが、各セル間の状態は往々にしてアンバランスな状態⁸⁾ に傾くことが多く、その場合、16.0 V を超えない、15.8 V 程度の最終印加電圧での充電をすることにより、各セルでのアンバランスな充電状態を少しでも吸収が可能となる。

加えて、充電電流の様態として、単なる直流印加だけでなく、パルス状電流で充電をさせることにより、電極間のサルフェーション除去予防に寄与できることが知られている。筆者が利用している車両バッテリー電極には、パルス発生装置（約 100 V）がバッテリー電極に並列に接続させており、車両停止時には、パルス信号が発生して、バッテリー延命のための微少パルスをバッテリーへ供給するようになっている。

3.2 15.5 V 程度のバッテリー充電装置の装着

鉛バッテリーは、充電終了電圧である 14.6 V を超えたあたりから、充電器の電源電圧の設定する電圧まで、満充電後での電圧の上昇を続けていく。15.0 V を超えたあたりからは、バッテリー電極から水素ガスを発生するようになる。したがって、15.0 V を超えた過電圧充電電圧による常時定電圧の印加は、バッテリー電解液の水素ガス発生過多などにより電解液消耗が多くなるため、極力短時間にとどめる工夫をしてい

かなければならない。

そのため、満充電後でも印加電圧としての方法として、機械式間欠タイマー動作⁹⁾によって、満充電状態を上手に維持する充電制御方法を採用した。

筆者の車両利用パターンでは、主に通勤や休日の運転業務終了後、運転者も睡眠時間帯である、夜の時間帯での、間欠充電動作には15分毎に充電器を入り切りする設定をして、充電器の動作を設定している。また、日中での勤務時間帯での充電シーンでは、リン酸鉄バッテリーをエネルギー源としたDC-DCコンバータを直流機械式タイマーにて、15分毎に入り切りするような動作設定をして、15.0 V電圧をメインバッテリーへ印加している。

メインバッテリーへの充電経路は、常時+回線を車両ヒューズを通じて後部荷物室まで延長線を増設し、充電電流容量は最大10 Aを超えないような設定としている。もちろん、接続端末にはヒューズ端子を備え、万一の車両火災などにならない対策をしている。

【走行後の補充電 充電対策装置】

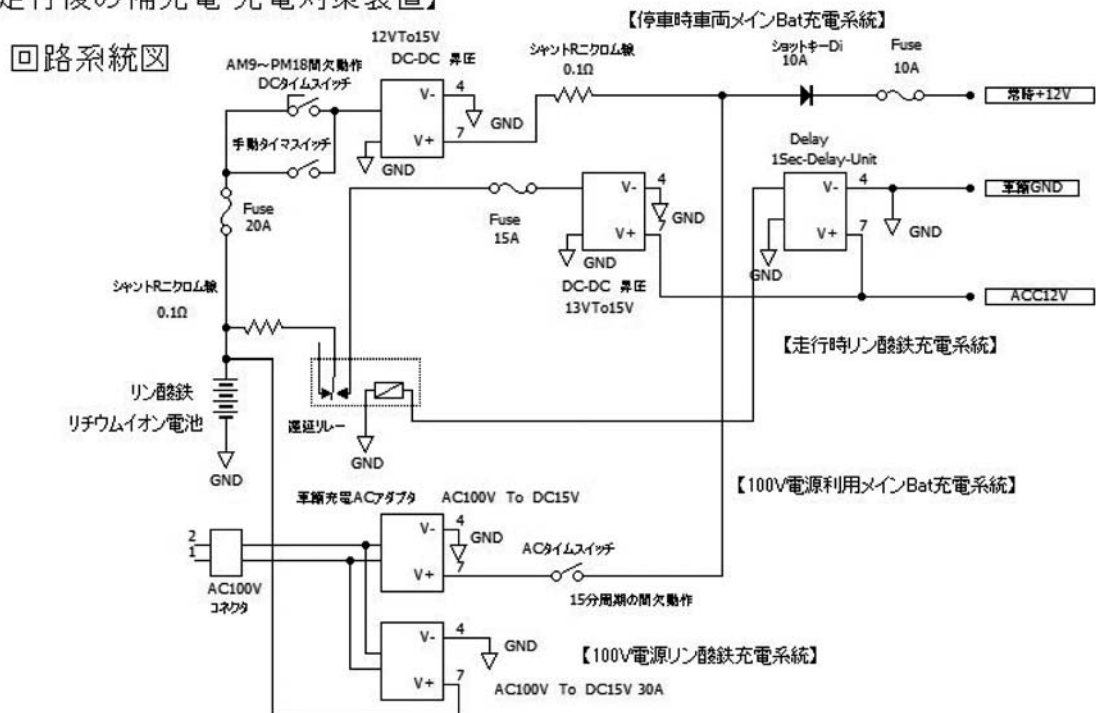


図 1 走行後での補充電回路系統図

3.3 交流 100 V 機械式間欠タイマーの選定

筆者の車両は、自宅へ到着時では、駐車場横に家庭用交流 100 V コンセントがあるので、適切なコンセントコードを接続することで、交流電源から充電エネルギーを得ている。この時に作動しているのは、普通の交流機械式タイマー（写真 3）で、15 分毎にオンオフを繰り返すようにして、車両本体へ充電が行われる。民生用充電器では、いったん満充電電圧に到達すると、電圧が 12 V 台（12.9 V あたり）へ低下しない限り、次の補充電動作は開始がされないため、機械式タイマーによって、入れたり切ったりして、満充電電圧である 14.6 V のキープを行っている。また、この充電ラインと並列に、出力電圧が 15.5 V 程度あるノー

ト PC 用充電アダプタをシャント抵抗ドロップ装置¹⁰⁾を介して接続し、これも同様の機械式タイマー（写真4）にて、15 分充電 30 分休憩，という周期にて，充電動作をさせている。

2 系統もの交流回路を充電として使用しているのは，1 つは，民生用の安全なバッテリー充電器の終端電圧制御機能を利用するためである。PC 充電アダプタを活用した増設充電回路は，3.2 で述べた，15.5 V 程度のセルバランスを均等にするために運用する一時的な過充電状態を実現するため，となっている。サルフェーションが発生すると除去は極めて困難であるため，少量の水素が発生した微少な過充電状態が，バッテリーの延命には有用であると思われるからである。

3.4 直流 12 V 式機械式間欠タイマーの選定



写真2 直流タイマー

写真3 交流タイマー

筆者は，日中の仕事先などに駐車時での補充充電として，直流 12 V で動作する機械式間欠タイマー（写真2）を利用して，DC-DC 昇圧装置（写真4），シャント抵抗器を介して充電回路も動作をさせている。従前では太陽光パネルなどを設置して充電をしていた。しかし，野外での突然の雨や風などにより太陽光パネルの撤去などが大儀となり，筆者の車両では，リン酸鉄リチウムイオン電池を荷物室へ搭載しているので，日中の駐車時間帯では，このバッテリー源から鉛蓄電池への充電をすることがスマート



写真4 機械式タイマー 遅延リレー

DC-DC 昇圧 ヒューズ

なことは，自明であった。交流式タイマーは，国内では一般的なものである。直流稼働，直流 12 V 式機械式間欠タイマーは，アリエクスプレス，香港の近くの深圳より輸入することにより，目的の動作を得ている。交流は電源周波数同期モータ，直流はクォーツ方式にて時計を回している。

昨今では電子式タイマーが主流となつてはいるが，電子的故障による誤動作を防ぐには，3.3 と，この 3.4 でセレクトした，機械式タイマーによる機械式電氣的接点の信頼性というのは，ある意味，構造がシンプルであることと，タイマー動作がモーター稼働音によって状況がわかるという安全性が高い構造によるものである。タイマー故障や設定不良による常時通電状態となった場合でも，野外であつても，その故障切り分けが簡便である，という優先順位を考えると，直流 12 V の機械式間欠タイマーの設置の存在は大きい。

4. 満充電のための補充電システム導入後での実運用状況結果

4.1 車両本体の鉛バッテリー状態の推移

車両が走行時では、CT センサを外した状態での 14.4 V 台をマークする電圧にて走行充電がされている。また、駐車時では、夜時間帯では家庭用 100 V 交流電源による 14.4 V および 15.5 V 台までの間欠充電動作が行われている。日中駐車時では、リン酸鉄リチウムイオン電池から供給される電源により 15 分毎のインターバルにより 15.5 V を超えない充電電圧により、満充電のための補充電動作が行われている。

これら、メインバッテリーへの絶え間ない間欠的な充電動作により、6 か月程度経過したメインバッテリーの内部抵抗値が購入時と遜色が無い程度の満充電状態を常時維持することができ、鉛バッテリー劣化の兆候が殆ど無い状態で維持ができています。

4.2 メイン鉛バッテリーと補充電装置のメンテナンス

筆者は鉛バッテリーへの補充電装置が、当初、これほど重要だとは気が付かなかった。特に充電制御車が行う ECU 制御のオルタネータ制御電圧が、充電容量の約 90% 程度にコントロールされているあたりが、これほどまでバッテリー寿命に大きく関係してくるとは、やはりバッテリー寿命の短命化予想を大きく超えるものであった。

筆者が今回、装着をした満充電状態をいつも保つための装置の設計や設置には、このような仕掛けを実運用するために、ある程度の車両に関する事前の背景の構造知識や安全上での配慮事項は事欠かない。筆者が行っている満充電状態を維持する装置装着の犠牲として、車両本体の鉛バッテリーの選択としては、蒸留水を補水可能な開放式鉛バッテリー¹¹⁾であることが大事な選択となる。また、満充電状態が連続しているということで、補水のための液面点検は、毎月 1 回程度、確認が必要となる。

鉛バッテリーの CT 充電制御コネクタを外しての走行であるため、車両検査時前には、元に復帰する必要がある。車両搭載のこれら充電制御装置は、走行時での振動などや、真夏の高温などで電子回路、接続コネクタ接点の状態¹²⁾を時折確認して、動作状況をチェックしておくことが肝要となる。

5. まとめ

本稿では、充電制御車における鉛バッテリー本体の延命のため、対策の補充電を含む装置導入や数々の工夫を紹介した。本来の車両設計で申せば、オルタネータ制御電圧を満充電領域にもっていくことでこのような付加装置を追加しなくても済むはずなのであるが、ECU プログラム、こと充電制御の挙動がバッテリー延命には、どうやらあまり望ましくないものであったことが、今回の装着への原点となっている。鉛バッテリー劣化により自動車の救援が増加している昨今、少しでも自動車電気系統におけるトラブル、特に鉛バッテリーへの過重な放電傾向がみられるバッテリーへの負荷状態は、本論で述べた走行充電時での充電フロー検討を提言するとともに、鉛バッテリーが持つ致命的な劣化要因となる放電状態からの満充電復帰に至るタイムロスをいかに軽減されるかが求められている。安価で提供される鉛バッテリーにおいても、リン酸鉄リチウムイオン電池などの補助電源を併用、組み込んだシステム設計などが求められる時期にきているのでは、と思っている。

これら筆者が取り組んだ装置の全体像は、バッテリー本体の数倍規模のコスト、あるいは追加の配線施工

などの手間を生じている。完成された鉛バッテリー本来の性能を発揮させるためにも、オルタネータを制御し、さらなる工夫や、チョイ乗り状態¹³⁾でも安心してバッテリー劣化を防ぐような工夫が、本来は車両設計の充電制御に求められるのではないと思われる。

<注釈>

- 1) 鉛バッテリー状態の劣化進行 …鉛バッテリーは、満充電状態からの放電深度と経過時間に応じ、電極劣化が進行をする。
- 2) トリクル充電装置…満充電後での微少充電電流による補充電方式。
- 3) ECU…Electronic Control Unit の略で、自動車電子制御ユニットを指す。
- 4) CT センサ…車載メインバッテリー端子傍に設置しており、電線をくぐらせて車載電流を逐次測定している。
- 5) オルタネータ…エンジンの回転動力により発電する装置。発電機と整流ユニットで構成される。
- 6) サルフェーション…バッテリーの放電状態が継続されると電極表面に反応しなくなる結晶物質が生成される。
- 7) ECU セーフティモード…センサ故障などにより、正常に計測できないと判断された場合での ECU の動作モード。
- 8) アンバランスな状態…バッテリーセルは経年時間経過とともに、セル間電圧不均衡なアンバランスを生じてくる。
- 9) 機械式間欠タイマー動作…もし、電子タイマー方式であれば、通電時間のインターバルを都度手動にて操作が必要となる。メカニカルスイッチは、信頼性はもとより、操作の継続動作においても有用である。
- 10) ショント抵抗ドロップ装置…DC-DC 昇圧出力を直接バッテリー接続することはバッテリー内部抵抗が低い故、過電流負荷として危険である。ヘアドライヤーニクロム線を適宜切断加工調整した抵抗体として用い電流値が小さくなるよう適切に調整をしている。
- 11) 開放式鉛バッテリー…メンテナンスフリーとよばれる鉛バッテリーは、バッテリーへの補水ができない。開放式バッテリーは、キャップを外して注水作業ができる。
- 12) 接点の状態…自動車用コネクタピンには、走行時振動などによっても容易に接触不良とならないような工夫がある。
- 13) チョイ乗り状態…走行距離が 1 キロ未満などでの短い距離では、回復するためのバッテリー充電状態に不足が生じる。

<引用・参考文献>

- [1] 齋藤治：自動車用鉛式 Battery への常時補充電システム導入 2023 (R 5) 年 3 月 芦屋大学論叢 78 号 PP.49-60
- [2] JAF ロードサービス救援データ (2024 年度：年間) :
<https://jaf.or.jp/common/safety-drive/library/road-service-report/fy 2024-year>