**自動車用鉛バッテリの電気特性**

E07023　小川瑞樹　　　　　　　　　　指導教員　藤田吾郎

1. はじめに

近年，自動車が普及し車社会と呼ばれる一方で，自動車の排気ガスによる大気汚染が年々拡大している。現在では低公害な自動車の開発が進められ，電気自動車技術や電力エネルギーと内燃機関のハイブリット運用技術が飛躍的に進歩している。しかし，自動車の電動化によるバッテリへの電力負荷が増大しているにもかかわらず効果的なマネジメントシステムの開発は遅れている。筆者らのグループでは，本課題について取り組んでいるが[1][2]，ここでは，鉛バッテリの正確な特性を把握することで，自動車電源系統の最適なエネルギーマネジメントに有効であると考えた。そして，本研究では，自動車に使われている鉛バッテリの特性を把握するとともに，長寿命化を実施することを目的とする。

1. 自動車電源系統

自動車電源の構成について説明する。エンジンの動力でベルトを動かし，オルタネータと呼ばれる発電機を作動させることで発電できる。発電した電力を鉛蓄電池や各負荷に供給する仕組みになっている。スタータや，エンジン停止時における電装品の電力はすべてバッテリから供給されている。ここで発生する電力は交流であるが内蔵されたダイオードで整流されている。さらに，レギュレータにより電圧が安定化されてバッテリや各電装品に電力を供給する[1][2][3]。自動車電源系統の簡略図を図1に示す。



図1　自動車電源系統簡略図

オルタネータで発電した電力はバッテリや負荷に供給される。発電した電力が負荷の供給に追いつかない場合は一時的にバッテリから負荷に供給している。バッテリには通常走行中にオルタネータからの電力を供給し，充電させている。オルタネータは，発電機の一種でありエンジンから伝達される機械的運動エネルギーを交流の電気エネルギーへと変換する装置であり，ダイオードを用いて整流している。オルタネータの出力電圧は，回転数，負荷電流，フィールド電流により変化する。現在，パワートランジスタと周辺の電圧検出回路をIC化した半導体回路が主流であり，ICボルテージレギュレータは，オルタネータ本体に組込まれている。

3. バッテリの特性モデル

　バッテリは電気を一時的に蓄えることができる装置で，自動車に必ず搭載されている重要な電装品である。バッテリは化学反応を用いているため温度特性など独特な特性を持ち，その特性は極めて複雑である。起電力が約2[V]の単電池を6セル直列に接続して，公称電圧は12[V]である。各セルには複数枚の薄い正極板と負極板を，セパレータを介して積層した極板群が収納されている。

鉛バッテリの劣化の約80[%]はサルフェーションが原因とされている。これは，電解液中に溶解している硫酸鉛の微粒子が飽和状態になり，電解液の温度が低下した時に結晶化し電気を通しにくい性質を持った不環性の硫酸鉛となる現象である。極板の反応面積が小さくなり放充電能力(容量)が低下し，進行すると化学反応事態が起らなくなり，充電効率低下，蓄電能力低下，放電電力低下を招く[4]。

以上説明した特性を数値シミュレーションで使用するモデルとしてあらわすためには，バッテリの電気的等価回路，バッテリの寿命評価指標，バッテリの寿命評価モデルが必要である。図2にバッテリの等価回路図を示す。

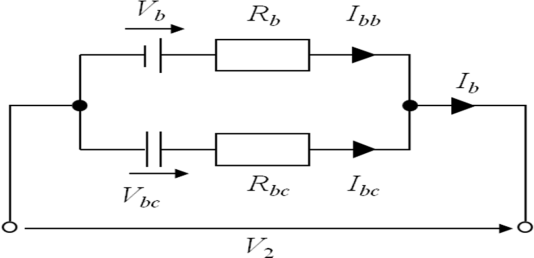


図2 バッテリの等価回路の例

この等価回路は電圧源，非線形抵抗，コンデンサで構成され，数値計算的には安定した解が得られる。これを用いた数値シミュレーションにより，電源部分の電圧変動や電流分担を把握することができる。そして，実車走行試験により得られた結果と比較すると図3が得られる。



図3 数値シミュレーション結果と実測値との比較の例

シミュレーションでは高回転でのオルタネータの出力電圧を26[V]未満としていたが、実際は26[V]よりも大きな電圧が出力されている。

4. 実験装置

　本研究では自動車の電源系統を簡易化した模擬実験回路を作成，実験を行い，鉛バッテリの特性を把握する。

図1自動車電源系統簡略図を基に実験回路を作成する。そこで，実際にオルタネータ，エンジンを用いることは経済的，時間的にも効率が悪いので発電機は直流電源を用いる。また，実験では鉛バッテリを定電流充放電させるので，DC-DCコンバータで出力電圧を制御し，充放電を行う。



図4　実験回路図

安全に実験を行うために電流の逆流を考慮しダイオードを設置し，過電流がDC-DCコンバータに流れないようにヒューズも設けた。充電時はDC-DCコンバータ(Charge)のコンバータを介し電源から鉛バッテリに充電を行い，放電時はDC-DCコンバータ(Discharge)を介し負荷に供給する。図4に本研究で使用する実験回路を示す。

5. 過渡応答実験

高精度のシミュレーションモデルを構築するため，電流が変化したときの過渡応答特性を把握する必要がある。そこで，各電流初期値から目標電流に到達する様子について，6[V]鉛バッテリを用いて充電時の過渡応答実験を行った。DC-DCコンバータを用いて定電圧出力制御し，バッテリに流入する電流量をスイッチと可変抵抗により変化させた。バッテリに流れる電流はRs5から取得し，ダイオードを接続して電流の逆流を防いでいる。電流値の変化は全30パターンを実施した。過渡応答実験結果を図5に示す。0[CA]からの立ち上がりは全ての値で目標値をオーバーシュートしていた。電流が流れている状態での電流値変化では電流が目標値に達し，オーバーシュートは見られなかった。実験を行う環境や電流変化の状況において若干の増減はあったがほぼ0.02[s]であることが確認された。



図5　過渡応答特性　0.1→0[CA]

6. 発電機実験

EDLC(電機二重層キャパシタ)を併用した場合の鉛バッテリへの影響を把握するため、発電機実験を行った。この実験ではオルタネータ，鉛バッテリ，負荷，EDLCを用いて実験を行い，回路図を図6に示す [5]。

発電機実験では1.従来通りの接続方法，2.EDLCを併用，3.加減速による鉛バッテリON/OFF，4.鉛バッテリ切り離し，以上の4ケースを基に負荷電流を軽負荷から重負荷まで(0，10，20，30[A])行い，それぞれ鉛バッテリを通常通り接続した方法と並列に接続した方法の2パターンの実験を実施する。発電機実験の実験結果を図7に示す。



図6　発電機実験回路図



図7　発電機実験結果

7. 今後の展望

今後は温度が鉛バッテリの化学反応に与える影響を把握するために温度特性実験の実施。実車とのリンクを考えEDLCのモデル作成や新たな評価法を取り入れた精度の高いシミュレータの構築を進め，鉛バッテリの長寿命化を目指す。

文　献

1. 長島紀雄，落合隆太，藤田吾郎，深田隆文，「自動車電源系統におけるシミュレーションモデルの開発」，平成20年電気学会産業応用部門大会，No.2-59 (2008-8)
2. 落合隆太，長島紀雄，藤田吾郎，深田隆文，「自動車バッテリ寿命改善手法」，平成20年電気学会産業応用部門大会，No.2-60 (2008-8)
3. 松本龍治，｢自動車エンジン要素技術Ⅱ｣，エンジンテクノロジー編集委員会，初版 (2005)
4. 佐藤登，境哲男，｢自動車用大容量二次電池｣，シーエムシー出版，第一版 (2003)
5. 小川瑞樹，藤田吾郎，深田隆文，竹本泰敏，「自動車用鉛バッテリの過渡応答特性」，平成22年電気学会産業応用部門大会，No.2-4 (2010-8)
6. Wootaik Lee, Daeho Choi, Myoungho Sunwoo,‘Modelling and Simulation of Vehicle Electric Power System’, Journal of Power Souces, No.109, January 2002.