

# 自動車電源システムのマネジメント技術

AE13087 星野 直宏

指導教員 藤田吾郎

## 1. はじめに

現在、世界ではエネルギー資源の枯渇や地球温暖化といった問題が生じている。そのため、様々な分野で地球環境に配慮した製品の研究開発が進められている。その中でも自動車は我々の生活に欠かせないものとなっており、地球環境への配慮が必要となっている。自動車用バッテリーの多くは鉛バッテリーが使われているが、鉛バッテリーの劣化状態を見極めるのは困難であり、定期的にバッテリーの交換を行っている。そのため、まだ使用できるバッテリーを処分してしまうことや、劣化状態のバッテリーを取り替えず使用している現状がある。そこで、バッテリーの交換時期の予測が可能になれば、これらの問題を解決でき、バッテリートラブルの減少、また資源の有効活用が見込まれる。

そこで、本研究では走行中の自動車に用いられるバッテリーの電圧、電流の挙動からパラメータを算出し、バッテリー劣化を推定することを目的とした研究を行う。

## 2. 実車走行試験

本研究では、自動車の走行中、停止中などのバッテリーの電圧、電流挙動の測定を行う。本研究で用いた使用車を表1に示し、試験概要の一部を表2に示す。

表1 使用車

車種	メーカー名	型式
普通トラック	いすゞ	KR-NKR81LAR
通称名	総排気量	蓄電池容量
エルフ	4777L	52Ah (5HR)

表2 試験概要

試験 No.	モード名	試験条件
12	渋滞走行 モード A	10[km/h]・2分⇒ アイドリング5分 ⇒クラクション
13	渋滞走行 モード B	10[km/h]・2分⇒ アイドリングストップ5分 ⇒クラクション

## 3. バッテリーモデルからパラメータ算出

図1に本研究で用いる鉛バッテリーの等価回路を示す。この等価回路には、電流変化に対し瞬時に応答する内部抵抗と電流変化に対し時間遅れをもって応答する内部抵抗の2つが存在している。これらの2つの内部抵抗をそれぞれ $R_1$ 、 $R_2$ とする。 $R_1$ は $C$ を並列に持つことにより $CR_1$ の時定数 $\tau$ が発生する。ここで等価回路が開放状態の時、

$OCV$ (Open Circuit Voltage)は $v$ (バッテリーの端子電圧)と等しい。回路に電流が流れるとき $R_1$ と $R_2$ による電圧降下が生じ、 $OCV$ と $V$ は値が異なる。回路に流れる電流、バッテリーの状態によってこれらのパラメータは異なる<sup>[1]</sup>。

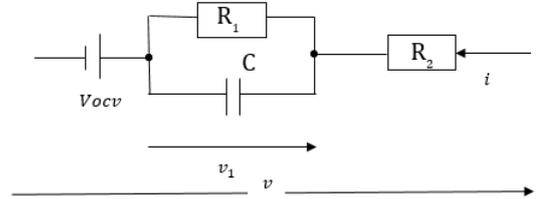


図1 バッテリーの等価回路

ここでは、バッテリーの両端電圧と流れる電流からバッテリーモデルのパラメータ算出を行っている。図1よりバッテリーモデルの電圧方程式、電流方程式は以下のように表すことができる。ここで、電流値は充電時を正としている<sup>[2]</sup>。

$$\begin{cases} v_1(t) + i(t)R_2 + Vocv = v(t) & (1) \\ i(t) = \frac{v_1(t)}{R_1} + C \frac{dv_1}{dt} & (2) \end{cases}$$

(1)から $v_1$ は以下のように式変形できる。

$$\begin{aligned} (1) &\Rightarrow v_1(t) = v(t) - i(t)R_2 - Vocv \\ &\Rightarrow \int_0^t v_1(t)dt = \int_0^t v(t)dt - R_2 \int_0^t i(t)dt - \int_0^t Vocv dt \\ &\Rightarrow V_1(t) = V(t) - R_2 I(t) - Vocv(t) & (3) \end{aligned}$$

ここで

$$I(t) = \int_0^t i(t)dt; \quad V_1(t) = \int_0^t v_1(t)dt$$

$$V(t) = \int_0^t v(t)dt; \quad Vocv(t) = \int_0^t Vocv dt \quad \text{とする。}$$

(3)式を変形し(2)式の積分値に代入すると以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} (2) &\Rightarrow R_1 \int_0^t i(t)dt = \int_0^t v_1(t)dt + CR_1 v_1(t) \\ &\Rightarrow R_1 I(t) = V_1(t) + CR_1 v_1(t) & (4) \end{aligned}$$

$$(3), (4) \Rightarrow R_1 I(t) = V(t) - R_2 I(t) - Vocv(t) + CR_1(v(t) - i(t)R_2 - Vocv)$$

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow (R_1 + R_2)I(t) - CR_1 v(t) + CR_1 R_2 i(t) + CR_1 Vocv \\ &= V(t) - Vocv(t) & (5) \end{aligned}$$

(5)式を行列式に変形すると、

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} I(t_1) & Vocv - v(t_1) & i(t_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ I(t_n) & Vocv - v(t_n) & i(t_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 + R_2 & CR_1 & CR_1 R_2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} V(t_1) - Vocv(t_1) \\ \vdots \\ V(t_n) - Vocv(t_n) \end{bmatrix} \\ \Rightarrow \mathbf{AX} = \mathbf{V} \Rightarrow \mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{V} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_2 = \frac{X(3,1)}{X(2,1)} \\ R_1 = X(1) - R_2 \\ C = \frac{X(2,1)}{R_1} \end{cases}$$

上式より理論上、端子電圧と電流からバッテリーパラメータ  $C, R_1, R_2$  を算出することが可能である<sup>[3]</sup>。

#### 4. パラメータ算出結果

例として、試験No.12の実測波形と充電部分、放電部分のパラメータ算出結果をそれぞれ図2、表3、表4に示す。電圧上昇中が充電、下降中が放電である。

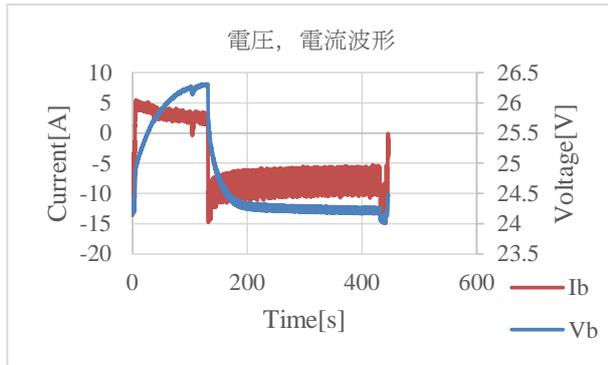


図2 試験No.12の実測波形

表3 充電部分のパラメータ算出結果

R1[Ω]	R2[Ω]	C[F]	データ数	Start Time[s]	End Time[s]
0.68	0.05	120.3	1268	4.8	131.7

表4 放電部分のパラメータ算出結果

R1[Ω]	R2[Ω]	C[F]	データ数	Start Time[s]	End Time[s]
0.23	0.03	124.9	3145	131.8	446.2

同様に、試験No.13もパラメータ算出を行った。

また、他の試験のデータ数とパラメータ  $C$  [F] の分布図を図3に示す。図3を見ると、どのような特性があるのか解明できなかった。

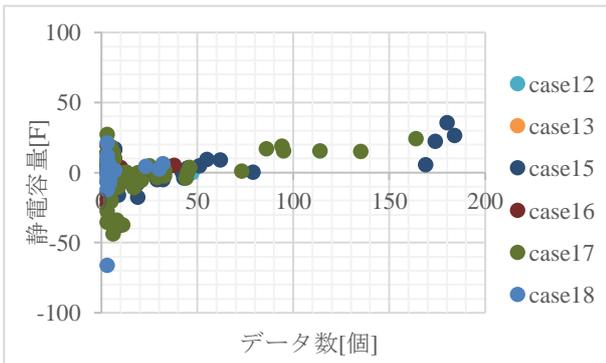


図3 試験No.12~18のデータ数[個]とパラメータ  $C$  [F] の分布図

そこで、パラメータの算出方法が正しいかどうかを MATLAB Simulink バッテリモデルを使って確認した。図4に MATLAB Simulink バッテリモデルを示す。

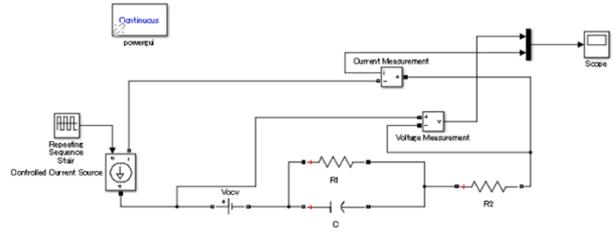


図4 MATLAB Simulink バッテリモデル

各試験のパラメータ算出結果を図4の  $R_1, R_2, C$  にそれぞれ代入し、シミュレーション確認を行った。図5に試験No.12の放電時のパラメータを入力し、出力した波形を示す。図5は試験No.12の放電部分の波形とほぼ同じになった。

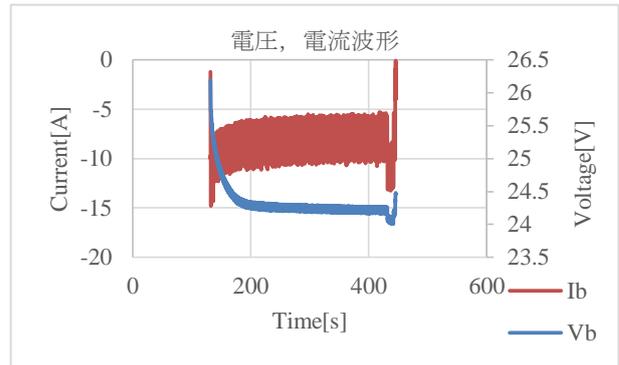


図5 試験No.12の放電時のパラメータを入力し、出力した波形

#### 5. まとめと今後の課題

実車走行試験のデータのバッテリーの両端電圧と流れる電流からバッテリーモデルのパラメータ算出を行えること明らかにした。また、MATLAB Simulink バッテリモデルのシミュレーション結果確認からパラメータ算出方法は正しいことを明らかにした。しかし、パラメータ算出結果にはバラつきがあり、現段階での実測データの応用は困難である。実測データをどう改善していくかが今後の課題となる。

#### 参考文献

- [1] 西村怜馬・深田隆文：「自動車用鉛バッテリーのシミュレーションモデル」，平成22年電気学会全国大会，4-208 (2010年)
- [2] 日本電池株式会社，「最新実用バッテリー」，第2版 日刊工業新聞社
- [3] 牛山健太郎，森本雅之，「電圧，電流のみによる鉛バッテリーのSOH推定」，平成22年電気学会産業応用部門大会，No.2-5, pp.II-255-258, (2010年)