

電気自動車用リチウムイオン電池の劣化モデルと強制循環方式への適用

早稲田大学 *長井健 高田祥三 大野高裕

A Forced Circulation System Applying

Degradation Model of Lithium Ion Battery for Electric Vehicle

Waseda University *Ken NAGAI Shozo TAKATA Takahiro OHNO

1 序論

地球規模の環境問題が深刻化している現在、自動車からのCO₂の排出量削減が求められている。そのため、CO₂排出量が少ない電気自動車への移行が求められている。しかし、電気自動車の動力源であるリチウムイオン電池（以下、LIB と略記）は、製造時の環境負荷が高いことが課題となっており、LIBの製造数増加を抑制することによる環境負荷削減が必要と考えられる。

その方策の一つとして、LIBのリユースに焦点を当て、本研究では強制循環モデルに着目する。強制循環モデルによって、使用量や要求機能が異なるユーザーに対して、ユーザーの要求に合わせた適切なLIBを定期的に再配置することで、製品の使用量の平準化を行い、一定数のユーザーの要求を一定期間満足するために必要なLIBの製造数を削減でき、環境負荷削減の効果が期待できる。

この場合、ユーザーの要求に合わせたLIBを提供するためには、再配置する時点でのLIBの劣化量を予測し、その状態を適切に把握する必要がある。そこで本研究では、まず電気自動車のLIBの劣化モデルを作成する。そしてその劣化モデルを用い、電気自動車用LIBの強制循環方式を採用した際の環境負荷削減の効果を明らかにする。

2 リチウムイオン電池の劣化モデル

一般的にLIBの状態は、定格容量に対して現時点での満充電容量を示すSOHと、その時点における満充電容量に対する残量を示すSOCで表現される。

LIBの劣化は、保存劣化とサイクル劣化に分けられる。保存劣化はLIBを使用しない際に発生する劣

化であり、保存時間、および保存時のSOCに依存する。それに対してサイクル劣化とはLIBを充放電させた際に発生する劣化であり、充放電回数に依存する。

本研究において、保存劣化については保存時のSOCの値に依存するような劣化式を構築し、そのパラメータは参考文献[1]で示されている実験データから回帰分析によって求めた。サイクル劣化式については放電深度が70の場合の劣化式を構築し、そのパラメータは参考文献[2]で示されている実験データから回帰分析によって求めた。その際、[2]においてサイクル劣化式には保存劣化量が含まれているため、保存劣化量を除去したサイクル劣化量に変更している。LIBの容量劣化量（SOHの減少量）は保存劣化とサイクル劣化を足した値とする。

$$C_d = (0.084e^{0.0157Soc}) \times (0.0247T) \quad (1)$$

$$S_d = 4 \times 10^{-7}C_y^3 - 0.0003C_y^2 + 0.0964C_y \quad (2)$$

$$D_a = C_d + S_d \quad (3)$$

C_d : 保存劣化量, S_d : サイクル劣化量, D_a : 容量劣化量, C_y : サイクル数, Soc : 保存時のSOC, T : 保存日数

3 強制循環モデルの適用例

3.1 対象とユーザー

本研究ではある事業会社が保有する一定数の営業車に対して、電気自動車用LIBの強制循環方式を適用する。ユーザー一人に対して一台の電気自動車を使用するとする。各ユーザーの要求機能値を満たすために、ある一定期間ごとにLIBを強制的に回収し、各ユーザーの要求機能値を満たすLIBを再配置するという強制循環モデルを仮定した。

本研究ではユーザー特性値として、営業担当者である

ユーザーごとに最長走行距離、年間走行距離、走行頻度を与える。与えたユーザー特性値を用いて劣化式のパラメータを求める。特性値はユーザーごとに与えているので劣化量が異なる。

ユーザーの要求機能値とは再配置を行う際、ユーザーが最低限に求める機能値を指す。再配置を行う際、要求機能値を下回るLIBは提供しないものとする。要求機能値は ΔSOH と最低SOHを足した値となる。最低SOHとはユーザーが最低限求めるSOHを指す。 ΔSOH は再配置を行ってから次の再配置を行うまでのSOHの変化量を指す。二つの値を足すことでユーザーは常に自身が求める最低限の距離を走行することが可能となる。回収したLIBのうち、各ユーザーの要求機能値を満たすLIBの再配置を行う。また、ユーザーの要求機能値を満たすLIBがない場合、そのユーザーに対しては新品のLIBを提供する。

ユーザーグループの人数を5、10、20、50人とそれぞれ設定を行い、比較を行う。

3.2 シミュレーションの期間と評価について

再配置周期を3か月、6ヶ月、1年、2年、3年にそれぞれ設定し、シミュレーションを実施した。

期間中のユーザーの需要を満たすためにユーザー1人当たり最低限必要なLIBの個数で環境負荷削減の評価を行う。また、シミュレーション期間は15年とし、6年目以降の結果を評価する。

4 結果および考察

再配置周期を固定し、ユーザーグループの人数を変更させた場合のシミュレーション結果を図1に示す。この結果より、ユーザー人数を増やすほど、再配置時のLIBの選択肢が増加し、ユーザーとLIBの組み合わせが適切に行われ、必要なLIBの個数が減少する。

次にユーザーグループの人数を固定し、再配置周期を変更させた場合のシミュレーション結果について図2で示す。この結果より再配置時期が短いほどユーザーの使用量が平準化され、必要なLIBの個数が減少する。

この結果より余分な新品を投入することがないため、環境削減効果が期待できる。

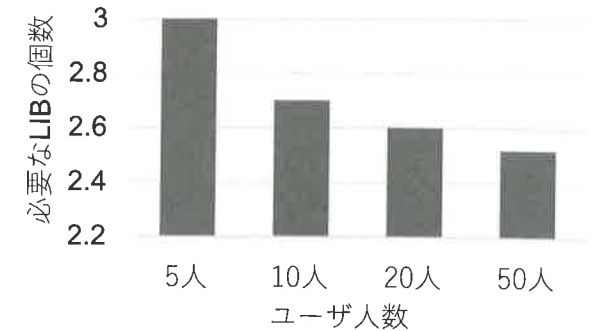


図1 シミュレーション結果（人数変更）

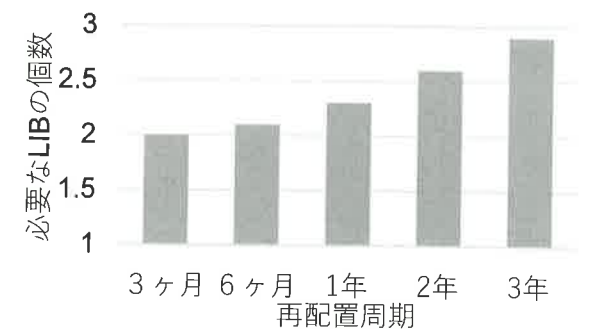


図2 シミュレーション結果（周期変更）

5. 結論

本研究では車両のユーザーの使用方法を反映したLIBの劣化モデルを作成した。また、作成した劣化モデルを用いて、LIBの製造数削減のための強制循環モデルを作成し、シミュレーションを行い、効果についてユーザーの人数と再配置周期の値を変化させ、比較を行い、電気自動車用LIBの強制循環方式を採用した際の製造数削減の効果を明らかにすることができた。

6. 参考文献

- [1] 安藤慧佑, 松田智行, 明神正雄, 今村大地, "LiMn2O₄を含む混合正極リチウムイオン電池の保存劣化機構", JARI Research Journal, pp. 1-4 (2015)
- [2] Shyh-Chin Huang, Kuo-Hsin Tseng, Jin-Wei Liang, "An Online SOC and SOH estimation Model for Lithium-Ion Batteries", Peter J S Foot, Vol. 10 pp. 92-103 (2017)