

# Study of a High-Power Lithium-ion Battery

Takaaki Abe, Yasuhiko Ohsawa, Hideaki Horie, Tomaru Ogawa, Yuji Tanjo and Mikio Kawai

Nissan Motor Co., Ltd. Nissan Research Center

1, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa, 237-8523

## Abstract

我々はリチウムイオン電池の HEVs への適用を目的に、高出力のリチウムイオン電池の開発を行っている。高出力化のためには、電池内のリチウムイオン輸送現象を理解することがとても重要である。しかし、リチウムイオン電池の電極は、活物質微粒子を集合させたいわゆるコンポジット電極であり、リチウムイオンの濃度分極の測定は非常に難しい。

本研究では、電池内のイオンの輸送現象を明確にするため、電池内のリチウムイオン輸送のモデル化を行い、リチウムイオン輸送現象シミュレーションプログラムを作成した。本計算プログラムにより、電解液内のリチウムイオン拡散が律速となる条件下で大電流放電時の計算を行い、以前行った実験結果と比較を行った。その結果、放電可能容量に関して計算結果が実験結果と良く合うことが確認でき、リチウムイオン電池の高出力化に向けての解析ツールとして、また、出力と容量を最適化する設計ツールとして有効であることがわかった。

図 1 に電池の計算モデルを示す。電池モデルは、コンポジット正極電極、セパレーター、コンポジット負極電極から構成している。厚さ方向に一次元とし、コンポジット正極負極は、Newman の Porous electrode theory を用いた。

系の支配方程式は、活物質内及び電解液内のリチウムイオン輸送方程式、活物質及び電解液内の電流輸送方程式である。支配方程式の解法は、時間方向に対し陽解法を用いた。電極の反応式は、B-V Equation を用いた。

実験に用いた電池の構成は、正極に  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 、負極にリチウム金属を使用した。正極活物質の拡散が律速とならないよう活物質の粒径を  $2.5\ \mu\text{m}$  とした。実験及び計算条件は、正極の膜厚、放電電流値を変えて行った。図 2 に放電電流値を変えたときの放電容量の結果を示す。放電電流値が大きくなるほど、電解液内のリチウムイオンが枯れることによる放電容量の低下が実験値と良く合っているのがわかる。次に、図 3 に正極の膜厚を変えたときの放電容量の結果を示す。正極の膜厚が厚いほど、電解液内のリチウムイオンが枯れることによる放電容量の低下が実験値と良く合っているのがわかる。以上のことから、本計算プログラムが大電流放電時の電池内リチウムイオン輸送現象をシミュレートできていると考えられる。図 4 にリチウムイオンの輸率を変えたときの放電容量の結果を示す。輸率に対する放電容量の向上が計算により予測できる。

本シミュレーションプログラムにより、HEVs から電池に要求される出力とエネルギー容量比に対して、リチウムイオン電池の最適設計が可能であることがわかった。また、高出力型リチウムイオン電池のさらなる高出力化の解析ツールとして有効であることもわかった。

## Simulation of a High-Power Lithium-ion Battery

Takaaki Abe, Yasuhiko Ohsawa, Hideaki Horie,  
Tomaru Ogawa, Yuji Tanjo and Mikio Kawai

Nissan Motor Co., Ltd. Nissan Research Center  
1, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa, 237-8523,  
Japan

Tel:+81-468-67-5192, Fax:+81-468-65-5796, E-  
mail:takaaki-abe@mail.nissan.co.jp

### 1. Introduction

We have been developing a high specific power lithium-ion battery for hybrid electric vehicles (HEVs). For improving the specific power of a lithium-ion battery, it is necessary to analyze lithium-ion transport phenomena in the cell. However, it is very difficult to measure concentration polarization of lithium-ion in the electrode, because the electrode is composite which consists of active material and electrolyte.

In this work, we had modeled the cell and made the simulation program for analyzing the lithium-ion transport phenomena during large current discharge. By this simulation program, we calculated the transport behavior at large current discharge, under the solution-phase diffusion limitations, and compared the calculated results with our previous experimental results [ref 1]. Good agreement was seen between the calculated and experimental results.

### 2. Simulation model

Figure 1 shows the simulation model for a lithium-ion battery, which was treated as one-dimensional. This model consists of a composite positive electrode, a separator and a composite negative electrode. Composite electrode model is based on Newman's porous electrode theory [ref 2]. The governing equations for the system were lithium-ion mass transfer equations inside the active materials and the electrolyte, and current transfer equations inside the active materials and the electrolyte. The algorithm to solve these equations was explicit method. The electrode kinetics was assumed to follow a Butler-Volmer form.

### 3. Results and Discussion

The Lithium-ion battery that we used consisted of  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $1\text{M-LiPF}_6(\text{PC}+\text{DMC})$  and Li foil. The average diameter of active materials was  $2.5\ \mu\text{m}$  so that the discharge was dominated by solution-phase diffusion limitations, not by solid-phase limitations. Figure 2 shows the discharged capacity ratio at various discharge rates. With an increasing discharge rate the discharged capacity ratio decreased. Figure 3 shows the discharged capacity ratio at various thickness of the composite positive electrode. With an increasing thickness the discharged capacity ratio decreased. Good agreement was seen between calculated and experimental results. With above results we considered that this simulation program could simulate the discharge behavior of lithium-ion battery.

In summary we could confirm that our program was an effective analyzing tool for improving the specific power of a lithium-ion battery for HEVs.

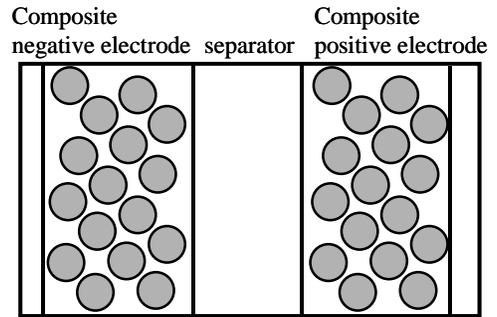


Fig.1. Simulation model

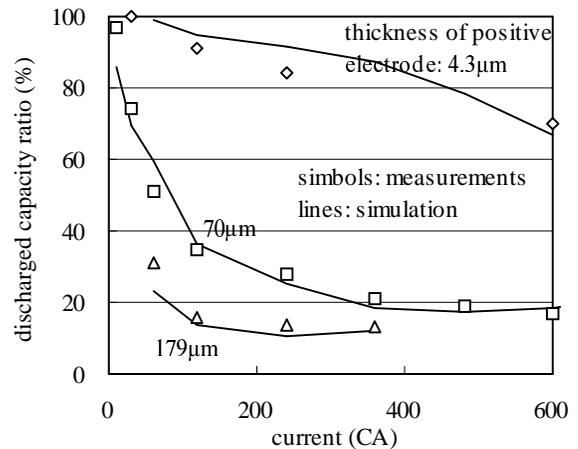


Fig.2. The discharged capacity ratio at various discharge rate

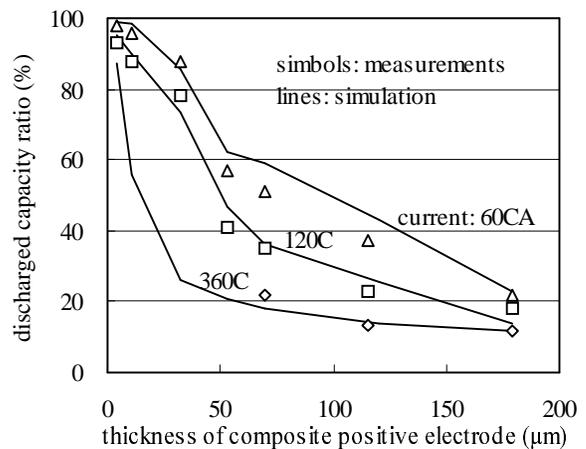


Fig.3. The discharged capacity ratio at various thickness of composite positive electrode

### Reference

1. Y.Ohsawa et al., the 41st Battery Symposium in Japan, P358, (2000).
2. T. F. Fuller, M. Doyle, and J. Newman, J. Electrochem. Soc., 141, 1-10 (1994).