

低軌道周回型超小型人工衛星に特化した効率的運用手法の提案

Proposal of effective operation method specialized for micro satellite in Low Earth Orbit

○高木 新, 宮田 喜久子, 山口 皓平, 原 進 (名古屋大学)

○Arata TAKAKI, Kikuko MIYATA, Kohei YAMAGUCHI, Susumu HARA (Nagoya University)



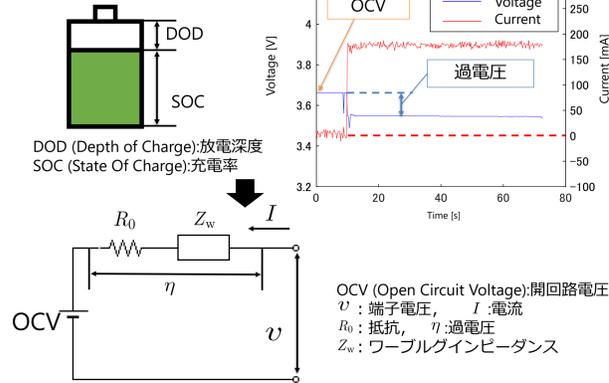
1. 背景

小型衛星に対する要求の高度化に対応するため小型人工衛星の活用を幅を広げることが期待されている。

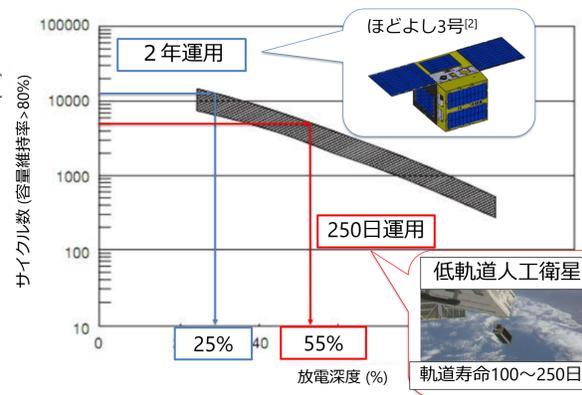
問題点 バッテリー保護を重視する電源管理を行っており、保守的な運用になっている。

本研究の目的
・バッテリーモデルを用いた充電率推定による目標放電深度の実現。

等価回路を用いたバッテリーの状態推定^[1]



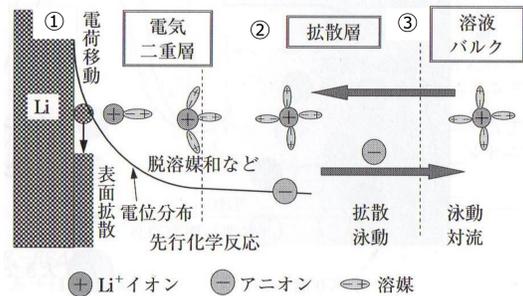
バッテリー寿命を考慮した衛星開発^[2]



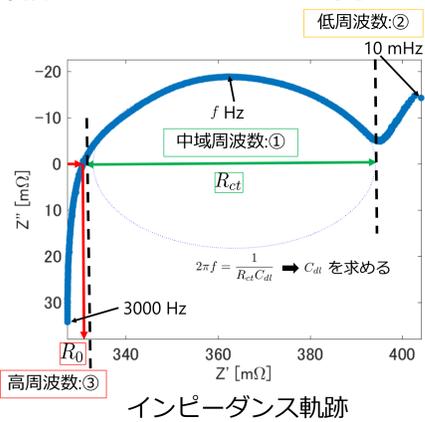
2. バッテリーの等価回路モデルと実験によるパラメータ同定

等価回路モデル

電極反応の進行過程^[4]



実験によるパラメータ同定と温度依存性評価



■ 対象
リチウムイオン電池
NCR18650GA (Panasonic社製)
公称電圧: 3.6 V
公称容量: 3500 mAh

■ 手法
交流インピーダンス法^[5]

■ 方法
バッテリーに交流の微小電圧・微小電流を流し、周波数領域でのインピーダンスを計測。

■ 条件

周波数	10 mHz ~ 3000 Hz
対数掃引	801点
SOC	54.2 %
表面温度	-9.85, 10.8, 33.6, 50.4 °C

実験結果

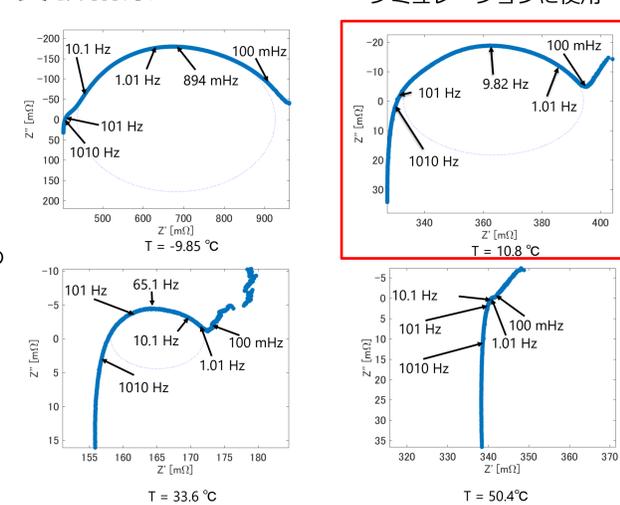
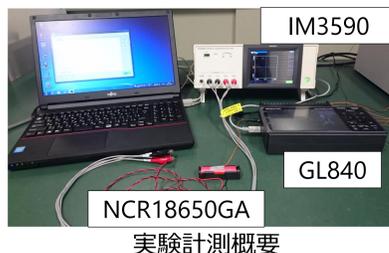
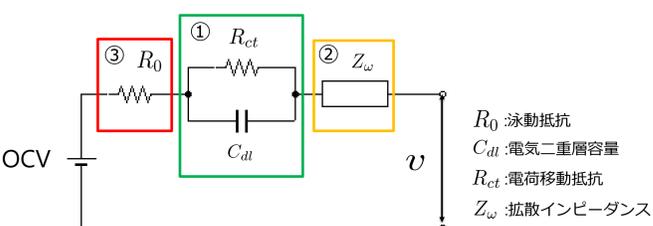


表1 温度変化によるバッテリー内部パラメータ変化

バッテリー表面温度 °C	-9.58	10.8	33.6	50.4
R_0 [mΩ]	438	330	158	341
R_{ct} [mΩ]	489	60.7	13.8	0.300
C_{dl} [F]	364	294	177	1.33×10^4

温度により過電圧の大きさが変わる。

バッテリーの等価回路^[1]



3. SOCを用いたモード切替の有効性評価

シミュレーション条件

バッテリー^[2]

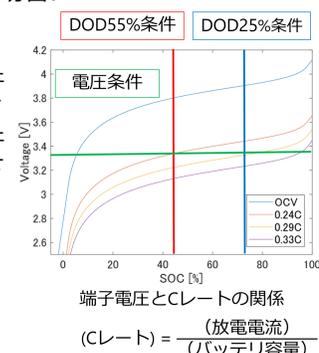
・リチウムイオンバッテリー
18650GA 8直列2並列 (7000 mAh)

負荷電力^[6]

・ミッションモード:
① 47.5 W ② 56.5 W ③ 65.5 W
・充電モード: 38.5 W

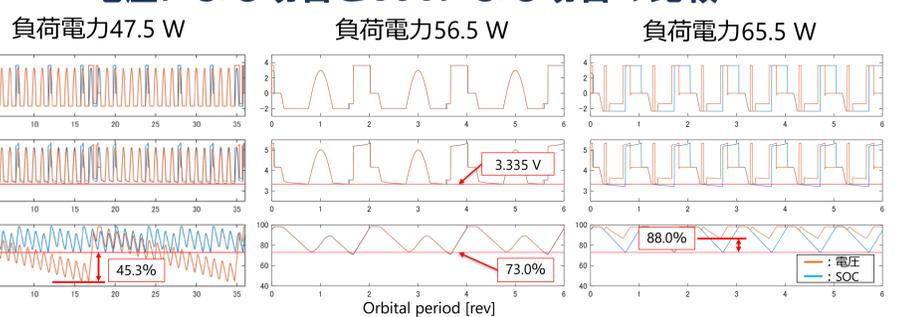
モード切替条件

ミッションモードへの切替,
SOC98%以上
充電モードへの切替,
1) 電圧条件
3.335 V以下
2) DOD25%条件
SOC73%以下
3) DOD55%条件
SOC43%以下

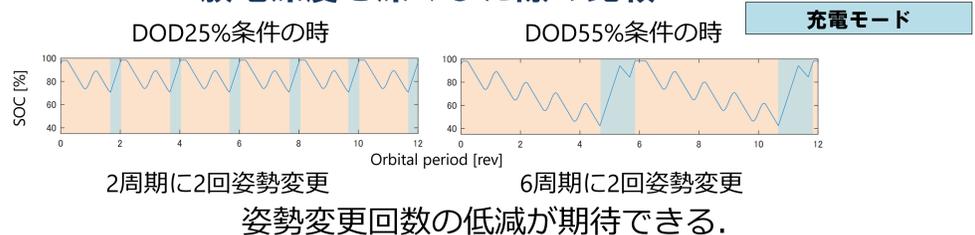


結果

電圧による切替とSOCによる切替の比較



放電深度を深くした際の比較



4. 結論

バッテリーモデルによる充電率の推定を利用することで、負荷電力に関わらず目標とする放電深度を保つ運用が可能になることを示した。
放電深度を深くすることで、姿勢変更回数を減らせ効率的に運用可能であることをシミュレーションにより示した。

今後の展望

- モード間遷移を考慮したシミュレーションへの拡張と姿勢変更回数の低減による減少電力量の評価。
- 指定したSOCへの応答性向上手法の検討。
- 実験によるシミュレーションの妥当性の検証。

謝辞

本研究を遂行するにあたりリチウムイオンバッテリーをご提供いただいた株式会社小林通商へお礼申し上げます。

References

- [1] 足立 修一, 廣田 幸嗣, 押上 勝憲, 馬場 厚志, 丸田 一郎, 三原 輝徳: 「バッテリーマネジメント工学」, 東京電機大学出版局, 2015.
- [2] 鶴田 佳宏, 田中 康平, 中須賀 真一, 松井 正安: 再利用を考慮した超小型人工衛星電源系のアーキテクチャ設計, 4th UNISEC Space Takumi Conference, 2013.
- [3] JAXA, (online), available from <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/20170116-cubesat6.html>, (accessed 2017-12-21).
- [4] 小久見 善八: 「リチウム二次電池」, オーム社, 2008.
- [5] 板垣 昌幸: 「電気化学インピーダンス法 第2版 原理・測定・解析」, 丸善出版, 2011.
- [6] Kikuko MIYATA, Shinichi NAKASUKA: ADCS Design with Effective FDIR Considering Mission Constraints for a Small Satellite, TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 12, No. ists29, pp. Td_7-Td_13, 2014.