

# インピーダンス情報を利用した衛星搭載電池の状態推定への検討

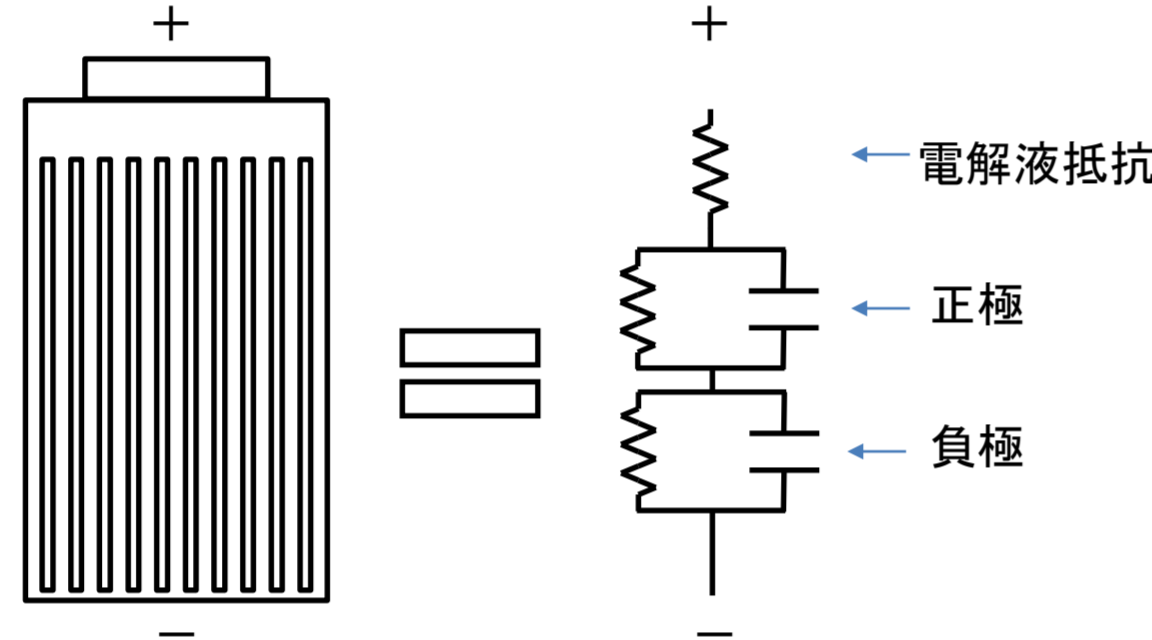
田中康平(総研大),板垣昌幸,小林怜史,菊池真史(東理大),曾根理嗣,福田盛介(JAXA)

衛星搭載バッテリーの充放電状態は電圧をモニタすること、もしくは充放電容量の収支を計算することによって管理されてきた。しかしながらこの管理方法ではバッテリーの劣化については考慮できていない。そのため、長期運用時には初期運用時にはできていた運用が継続してできない、という状況が生じる。この状況を回避するためにはバッテリーの劣化状態を推定して運用に反映する必要がある。バッテリーの劣化状態を推定するために民生分野ではインピーダンスという情報を利用することを試みている。インピーダンスとは周波数毎の電圧と電流の比で表される成分であり、この情報から非破壊で電池の内部診断が可能となることから近年多くの研究者がインピーダンス情報を利用して電池の状態診断を行う。一般的には100kHzから100mHz程度まで掃引することによって電池の劣化状態を診断している。本研究では、衛星に搭載されているバッテリーという、限られた時間、電圧・電流分解能でしかモニタできない中でインピーダンス情報をいかに抽出し、バッテリーの充放電状態の推定および劣化具合の推定を行うか、という仕組みについて検討した。

## 1. 電池⇔等価回路

電池は様々な材料から構成されており、その構成を抵抗やコンデンサによって表現することが可能である。

- 例えば、
  - a. 電解液抵抗は抵抗によって
  - b. 電極は抵抗とコンデンサの並列回路によって
  - c. イオンの拡散はワールブルグインピーダンスとコンデンサの並列回路によって
- とそれぞれの材料や反応を等価回路にて表現することが可能である。

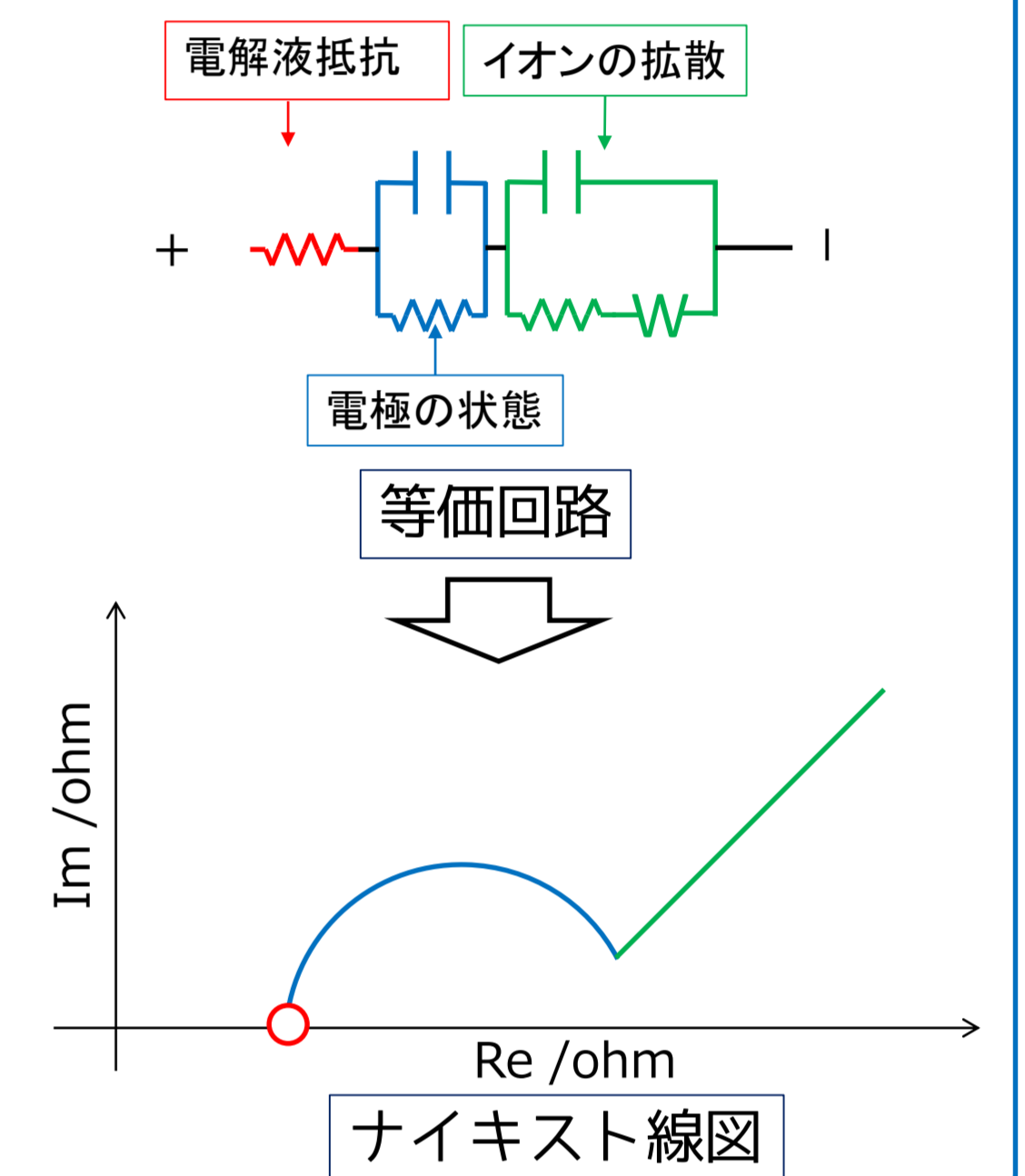


※ワールブルグインピーダンス：抵抗とコンデンサの並列回路の中に抵抗とコンデンサの直列回路を組み込むことで表現される

## 2. 等価回路⇔インピーダンス

それぞれの部材を等価回路によって表現することが可能であり、周波数に依存した式で表すことができる。よって周波数を掃引することによってナイキスト線図と呼ばれる軌跡で電池の状態を表すことが可能になる。

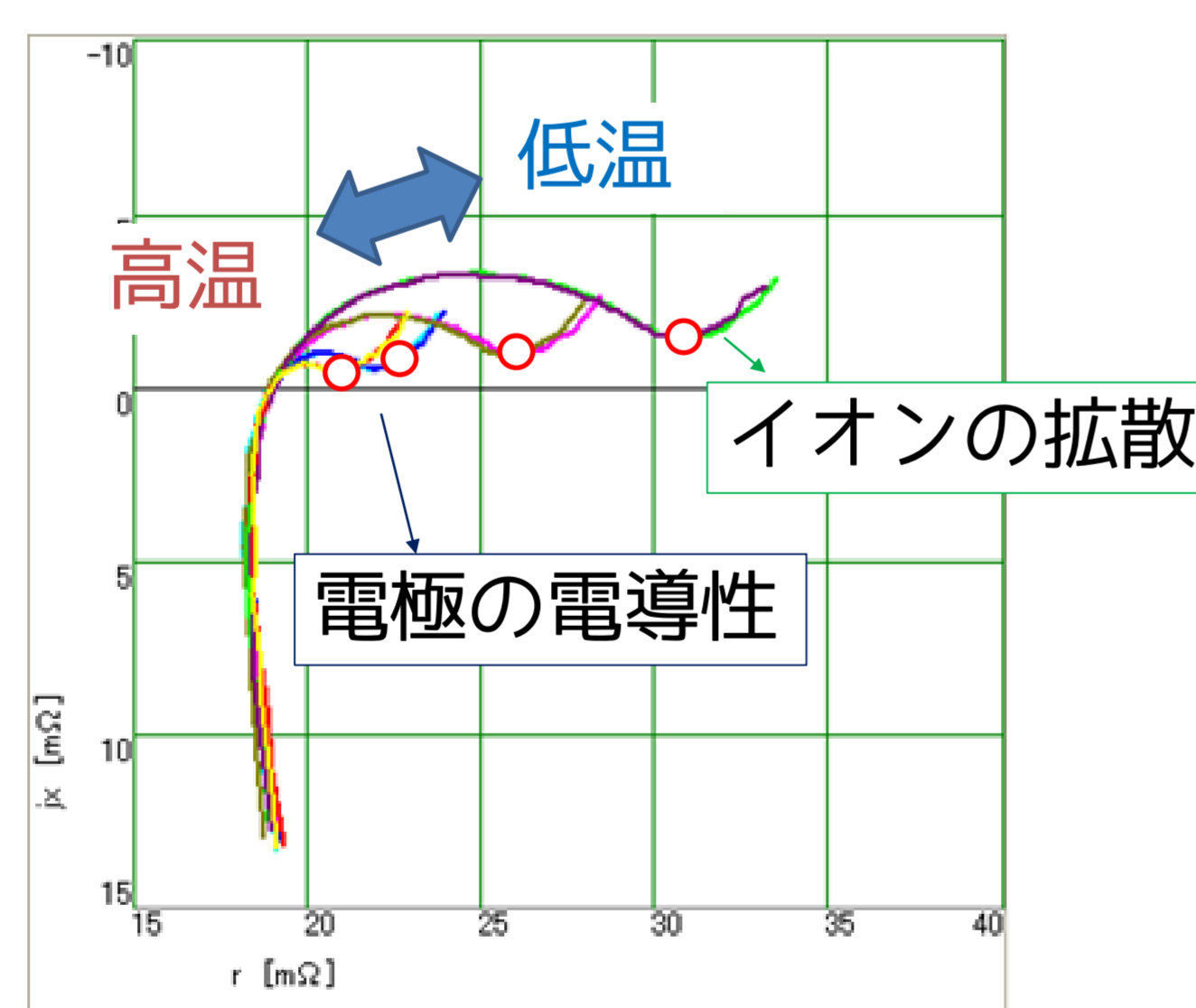
Component	Equivalent circuit	Nyquist diagram	Impedance
Resistor			$Z = R$
Capacitor			$Z = \frac{1}{j\omega C}$
Resistor - Capacitor (series)			$Z = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}$
Resistor - Capacitor (parallel)			$Z = \frac{R}{1 + j\omega CR}$



## 3. インピーダンス特性の把握

電池のインピーダンスは温度、充放電状態、劣化状態によって異なる特性を示す。例えば低温であればインピーダンスが大きくなるために反応が起こりにくくなり、充放電の効率が悪くなる。ただし、放電末期や劣化が進んでいる状態でも低温と同様にインピーダンスは大きく現れてくる。

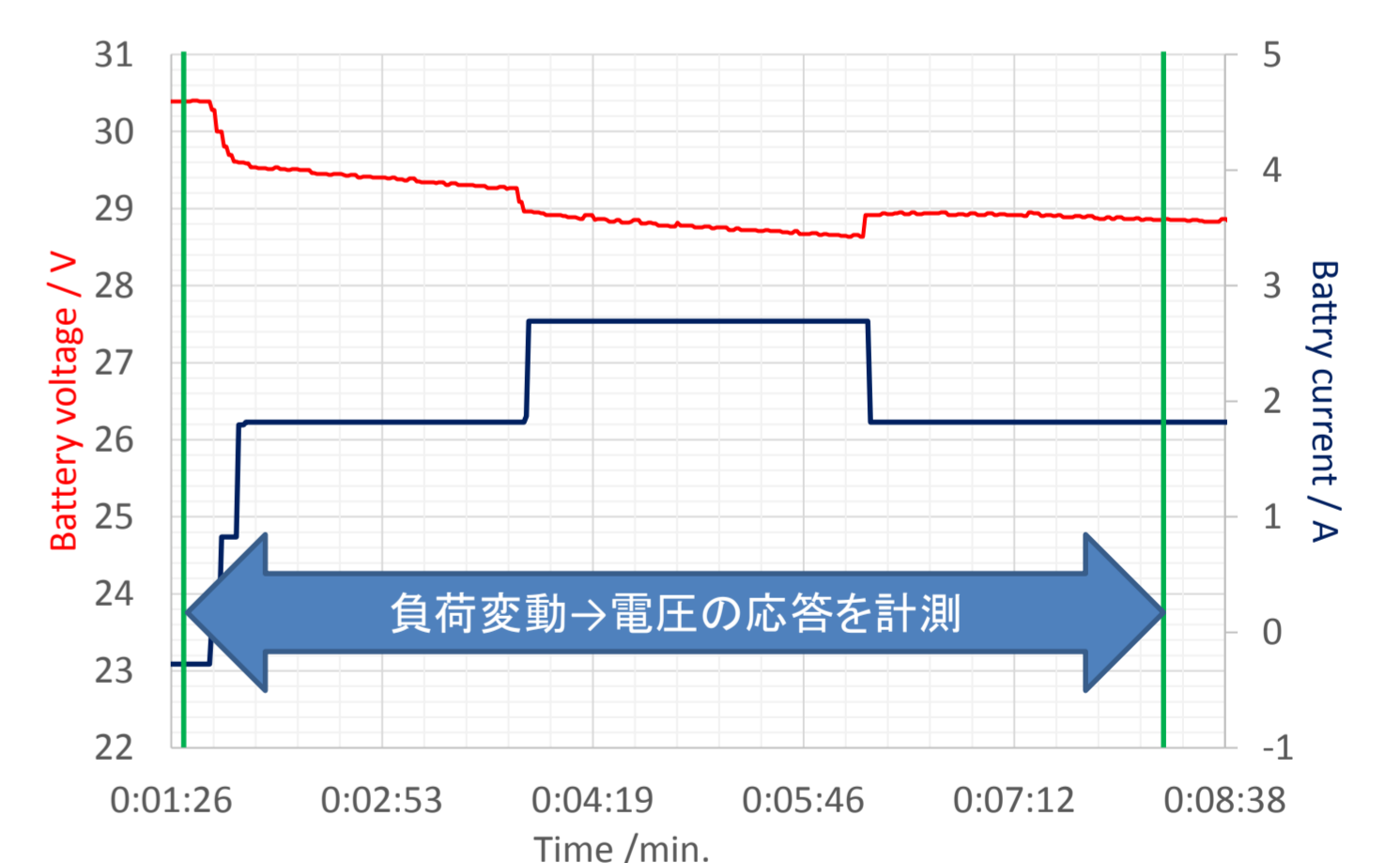
そのため正確な状態の推定には、変化のトレンドを追いかけることと、各事象の切り分けのために詳細にインピーダンスの変化傾向について地上試験にて把握することが重要となる。



## 4. 状態の推定

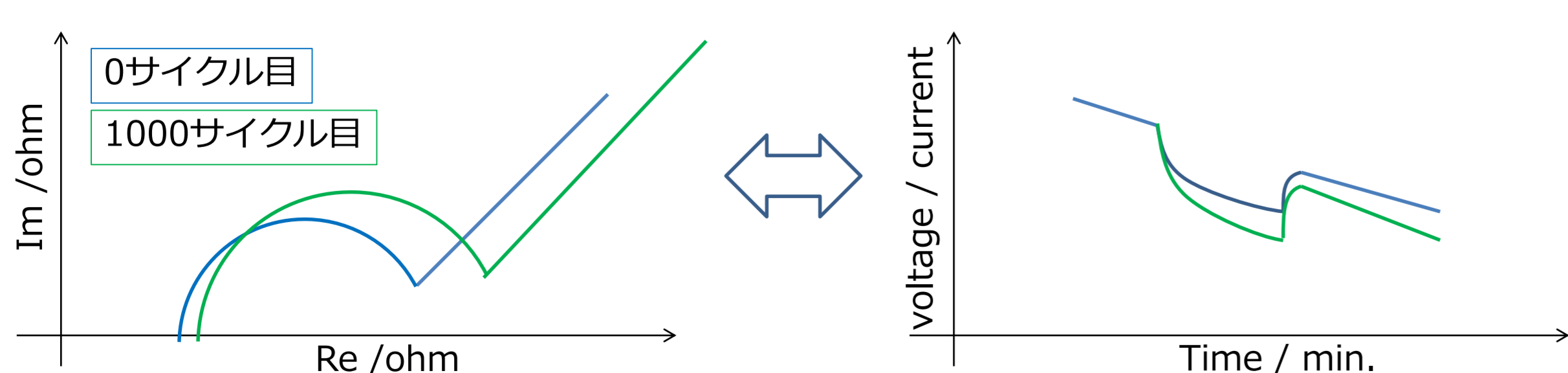
電池の等価回路を設定することができれば、各素子と電流・電圧の関係式は既定であることから、インピーダンスと電圧・電流の関係式を求めることができる。この求めた関係式に電圧値・電流値を代入することによってインピーダンスを算出することが可能となる。

Component	Current vs. Voltage
Resistor	$E = IR$
Capacitor	$I = C \frac{dE}{dt}$



## 5. 劣化状態の推定

電池の充放電サイクルを回しながら、定期的にインピーダンスを計測することによって電池の劣化とインピーダンスの関係について把握することが可能となる。劣化の傾向がでてきている場合には充放電特性にも差が生じるため、状態推定の式を利用して傾向の差を把握することが可能となる。



## 現状および展望

衛星搭載バッテリーを、サンプリング間隔を1Hz、電圧・電流の分解能を16bitでモニタした結果から、解析的に低周波領域のインピーダンスを概算できることを確認できている。今後は劣化傾向を推定するために着目すべき因子を整理し、インピーダンス情報を利用した運用の仕組みを構築することを目指す。

