

機械学習とインピーダンス法を用いた 二次電池の診断

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

准教授 片山 昇

新技術の特徴

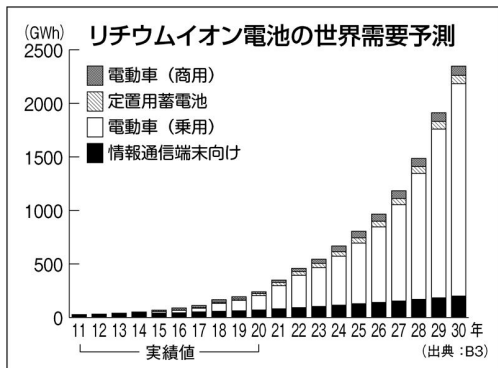
2

リチウムイオン電池等のデバイスの内部状態を診断する技術

- 様々なデバイスに対して**非破壊**で内部状態の推定ができる。
- 対象物のインピーダンス**データを収集するだけ**で利用可能。
- **環境や個体差**に依存しない。

リチウムイオン電池 (LIB)

3



<https://newswitch.jp/p/29447>



<https://kagakumag.com/pc-smartphone/?id=17515>



<https://www.itmedia.co.jp/business/articles/2201/07/news028.html>

需要増加 + 中古市場の拡大

利点

- エネルギー密度(Wh/kg)が高い
- パワー密度(W/kg)が高い
- サイクル寿命が多い

欠点

- 高価
- 安全性に問題

リチウムイオン電池の故障・事故

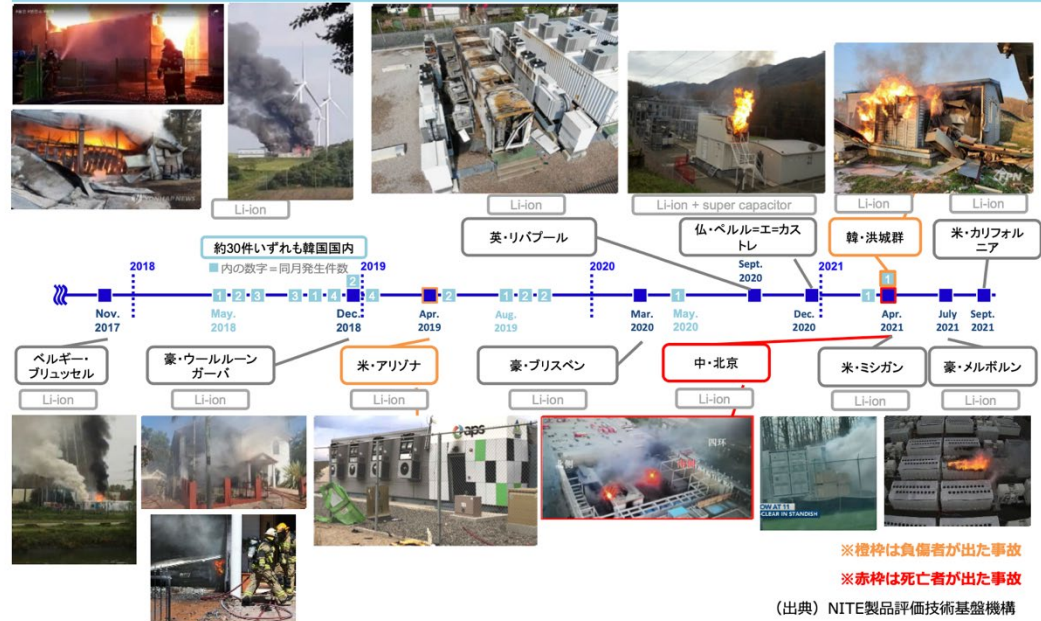
4

蓄電池の事故事例

- 液系LIBは発煙・発火のリスク有。近年もリチウムイオン電池の火災事故は続いており、**安全対策は重要な課題の一つ。**



テレビ朝日 2019年6月4日 放送

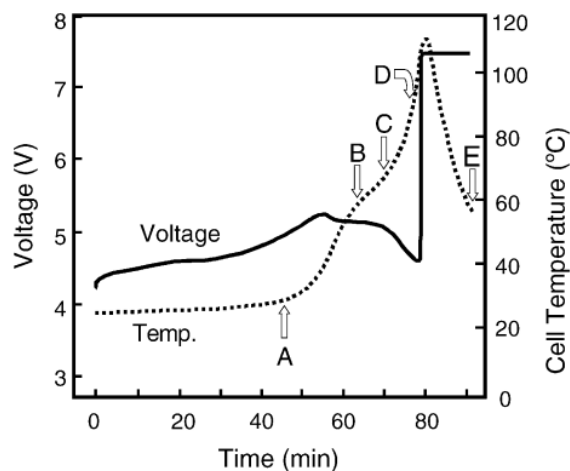


出典：経済産業省「蓄電池産業の現状と課題について」, p.9

リチウムイオン電池の内部状態

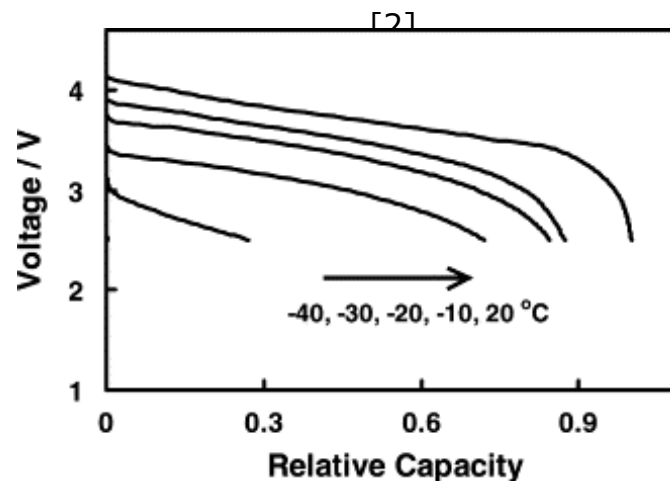
5

過充電による温度上昇[1]



[1] Ohsaki et al., Power Sources, 146(1-2), pp.97-100

低温における充放電性能の低下



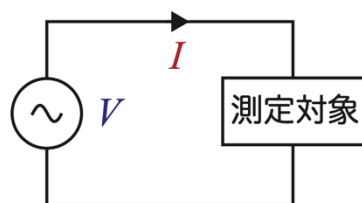
[2] Zhang et al., J Power Sources, 115(1), pp.137-140

安全使用のためには電圧や温度などを管理する必要がある。

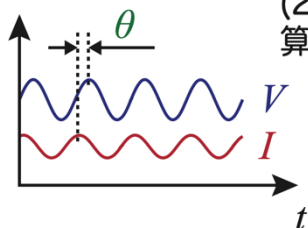
インピーダンス法の原理

6

(1) 交流電圧を印加し
電流応答を測定する。

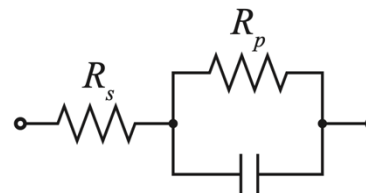
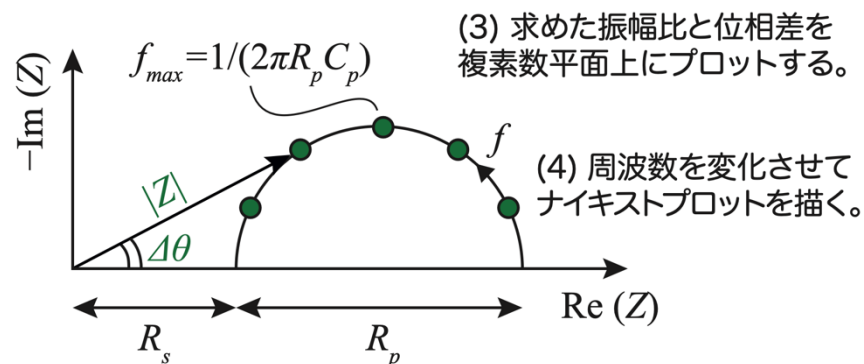


(2) 電圧と電流の振幅比と位相差をそれぞれ
算出しインピーダンスを求める。



$$|Z| = |V| / |I|$$

$$\theta = \text{Arg } V - \text{Arg } I$$



(5) ナイキストプロットより
等価回路が得られる。

微小交流を印加して得られる特性から電池の状態を評価できる

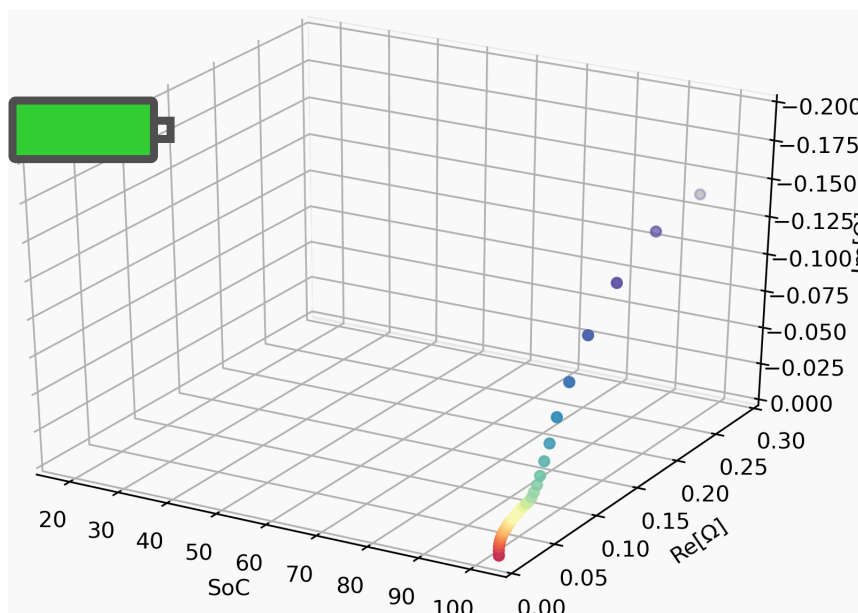
リチウムイオン電池の充電量(SOC)とインピーダンス 1

7

インピーダンス測定条件	
周波数	50 mHz~5 kHz
測定点数	31点
SoC	100%~20%(1%刻み)
温度	0℃

従来技術の問題点 1

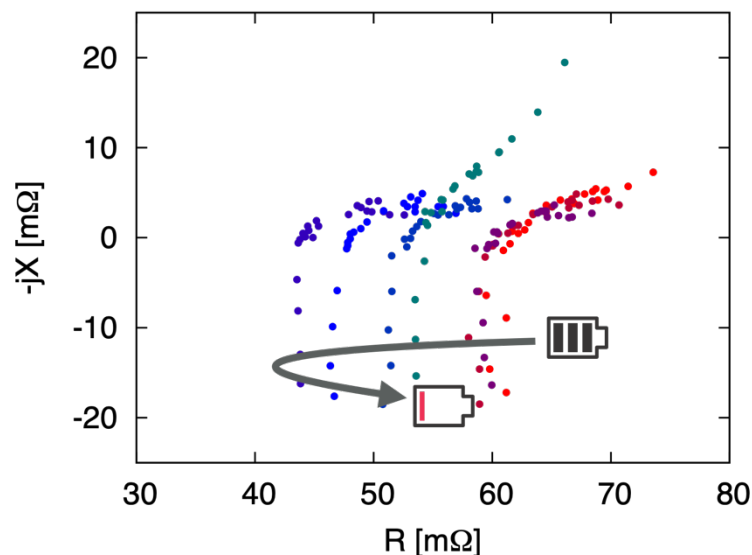
電池に関するより詳細な情報が得られるものの、
充電量とインピーダンスの変化に関係はあるが分かりづらい。



周波数[Hz]

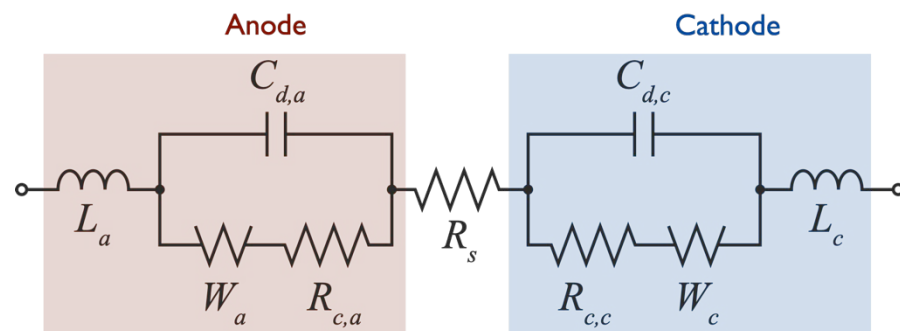
リチウムイオン電池の充電量(SOC)とインピーダンス 2

8



Lithium-ion battery (NCR18650PF, Panasonic, 4.2 V/2700 mAh)
Frequency: 10-6000 Hz/Load current 0.1 A

充電量とインピーダンス軌跡の関係



従来技術の問題点 2

複雑なインピーダンス軌跡を
等価回路でモデル化して解析するが
測定対象ごとに検討が必要

リチウムイオン電池の温度とインピーダンスの関係

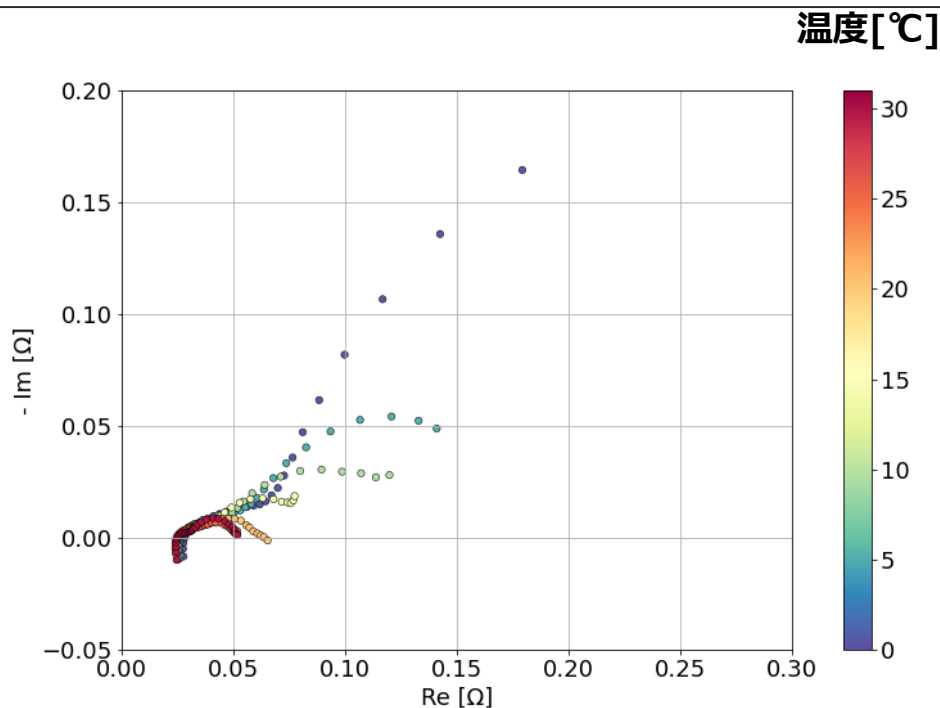
9

放電試験によりSoCの値を
変化させながらインピーダンス測定
(SoC100%のときの測定点)

インピーダンス測定条件	
周波数	50mHz~5k[Hz]
測定点数	31点
SoC	100%
温度	0,5,10,15,20,25,30℃

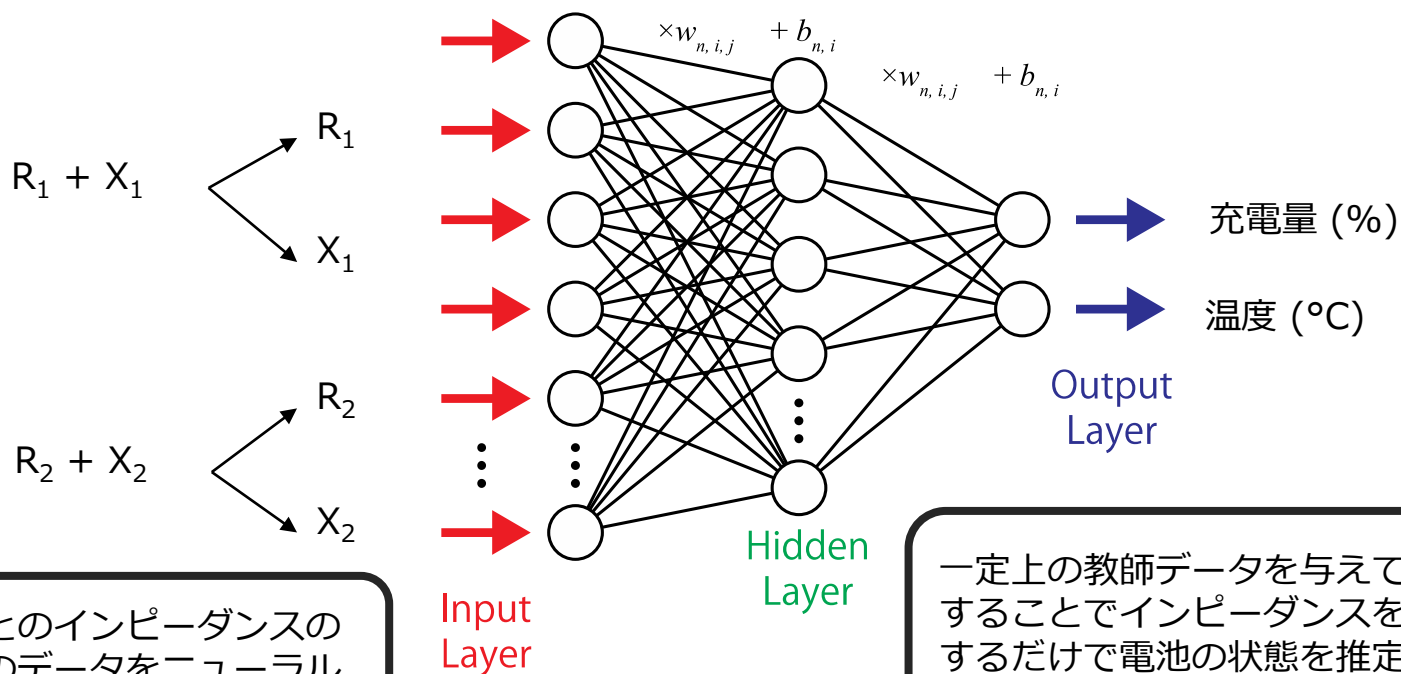
従来技術の問題点 3

温度など測定環境によってもインピーダンスが変化してしまう



機械学習(深層学習)の概要

10



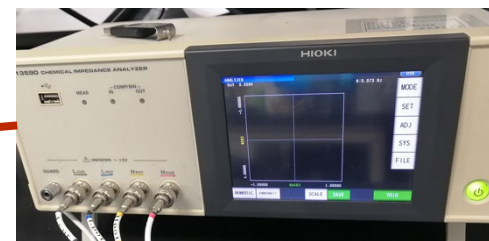
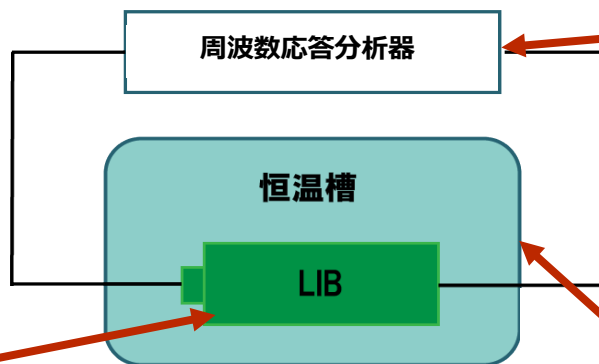
各周波数ごとのインピーダンスの実部と虚部のデータをニューラルネットワークに入力

一定上の教師データを与えて学習することでインピーダンスを入力するだけで電池の状態を推定できるようになる。

データを収集するための測定方法・条件

11

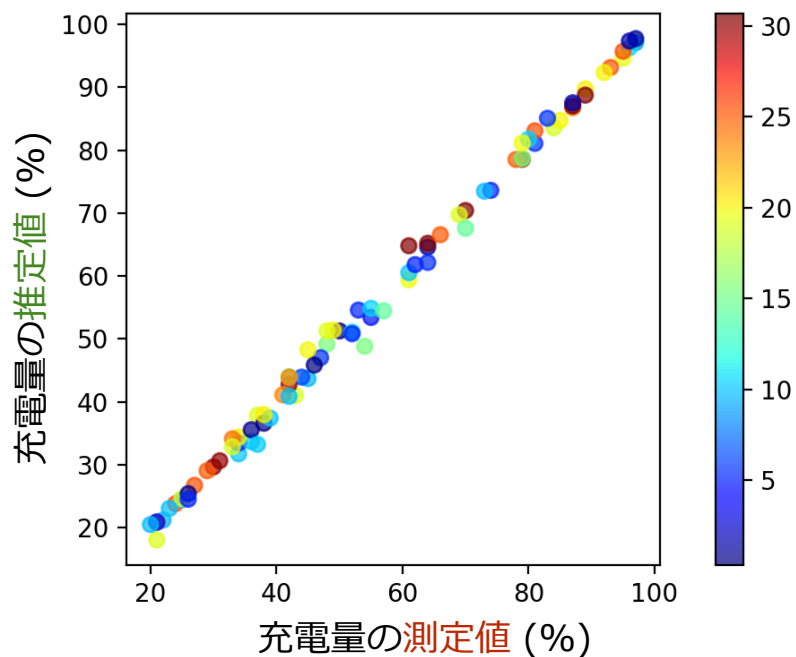
条件	値
周波数	5 mHz-5 kHz
充電量	20-100%
温度	0-35 °C (5 °C刻み)
交流振幅	5 mArms
直流バイアス	4.2 V



内分用に3本・テスト用に1本で計4本の電池を測定

リチウムイオン電池の温度とインピーダンスの関係

12



学習の際のハイパーパラメータ条件

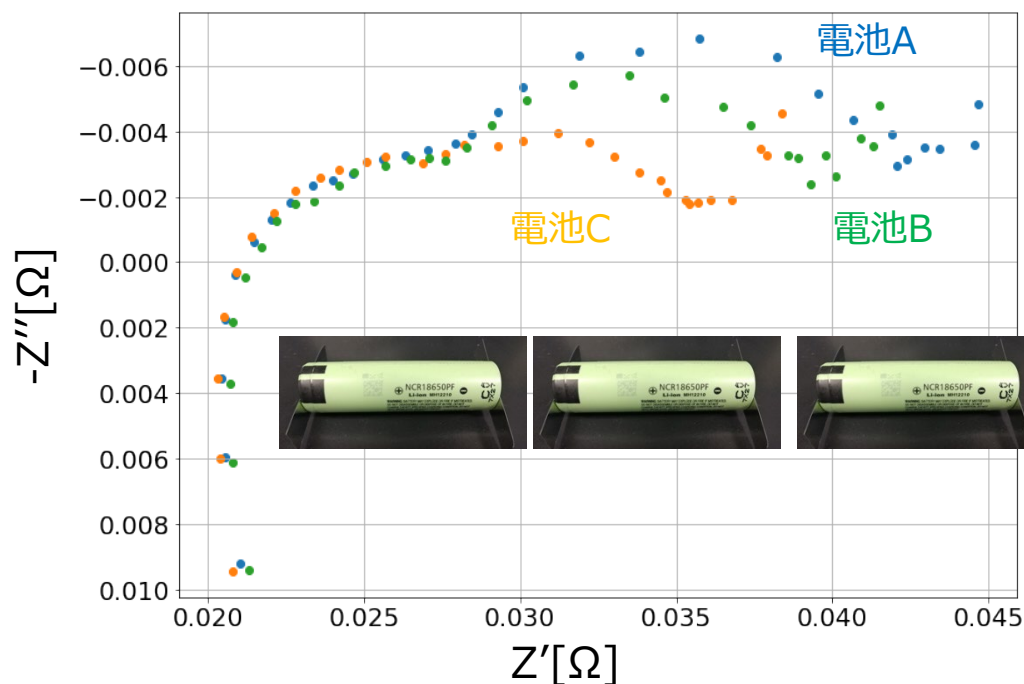
活性化関数	tanh
隠れ層の数	2
オプティマイザ	adam
バッチサイズ	4
エポック数	1000
ノード数	32/16/16/1

→ 1.452%で容量を推定

温度変化がある中で高い精度で電池充電量を推定

本手法における問題点

13



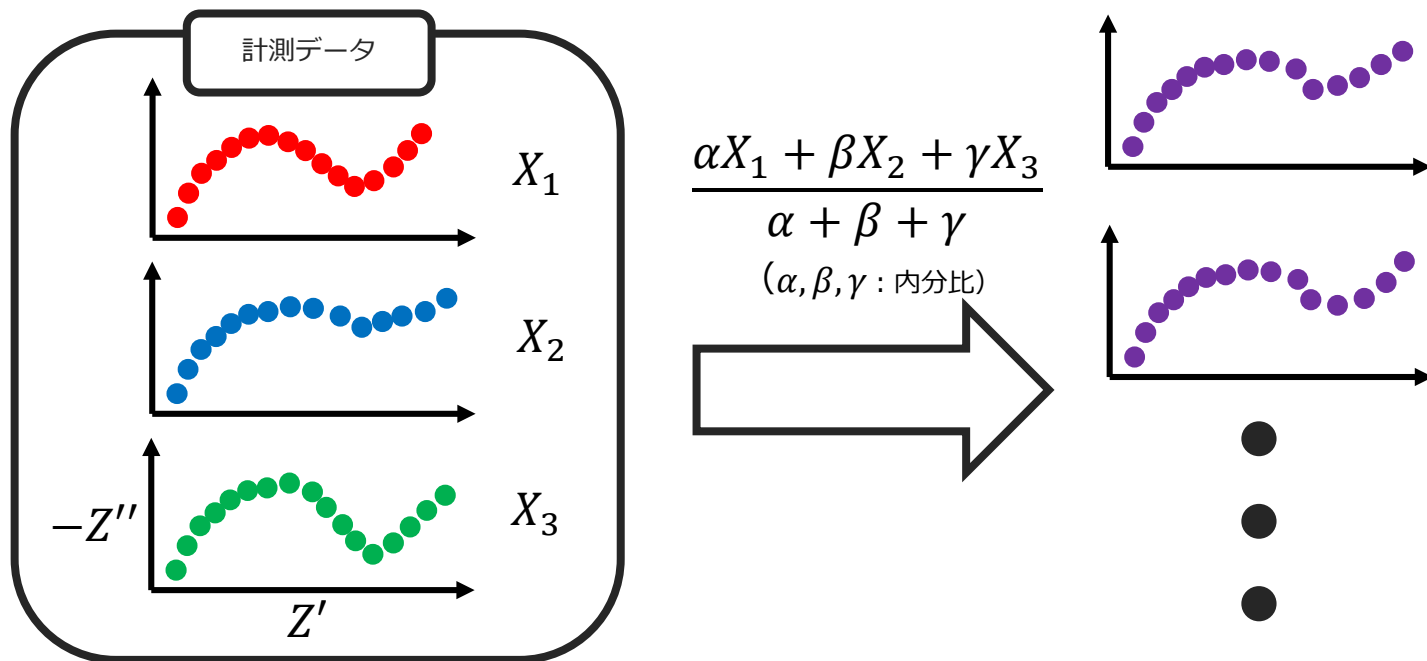
従来技術の問題点 4

同一メーカー・同一型番のリチウムイオン電池でも特性が異なるため、本来であれば個体ごとにインピーダンス特性を測定する必要がでてくる。

測定時間・工数がかかるという大きなデメリット

提案手法

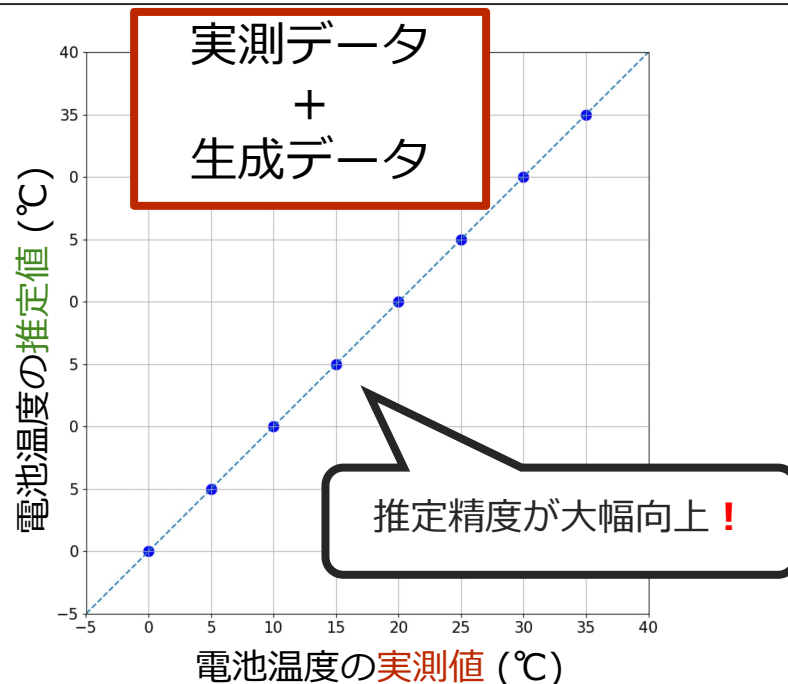
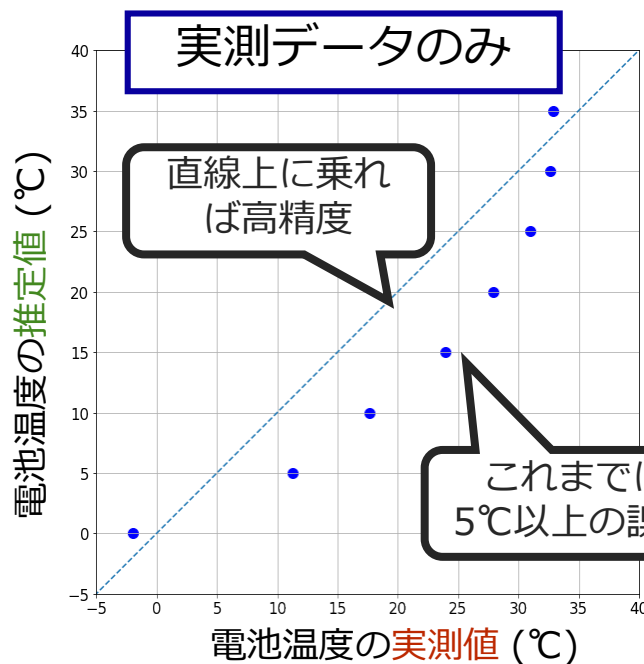
14



複数の電池のインピーダンス軌跡から学習用のデータを大量生成する

提案手法の効果

15



測定するデータ数はそのまま、推定精度が大幅に向上

新技術の特徴・従来技術との比較

16

インピーダンス法

→ 様々なデバイスに対して**非破壊**で内部状態の推定ができる。

機械学習

→ 対象物のインピーダンス**データを収集するだけ**で利用可能。

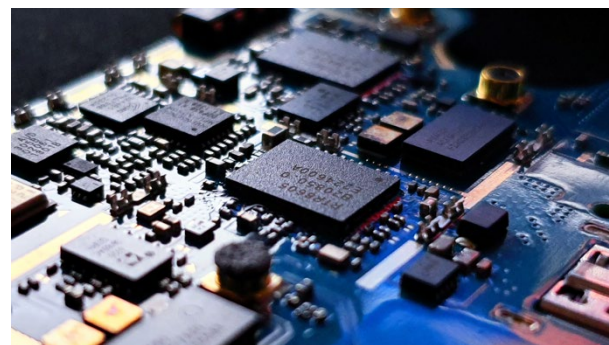
さらに本技術を利用することで・・・

環境や個体差に依存しない診断が可能！

想定される用途

17

- ・ リチウムイオン電池などの**化学電池**および**太陽電池**の状態推定
- ・ **生体**・**生物**・**食品**などの状態推定
- ・ **電源回路**・**材料**など工業製品の異常診断



想定される用途 (果実の熟成度の解析)

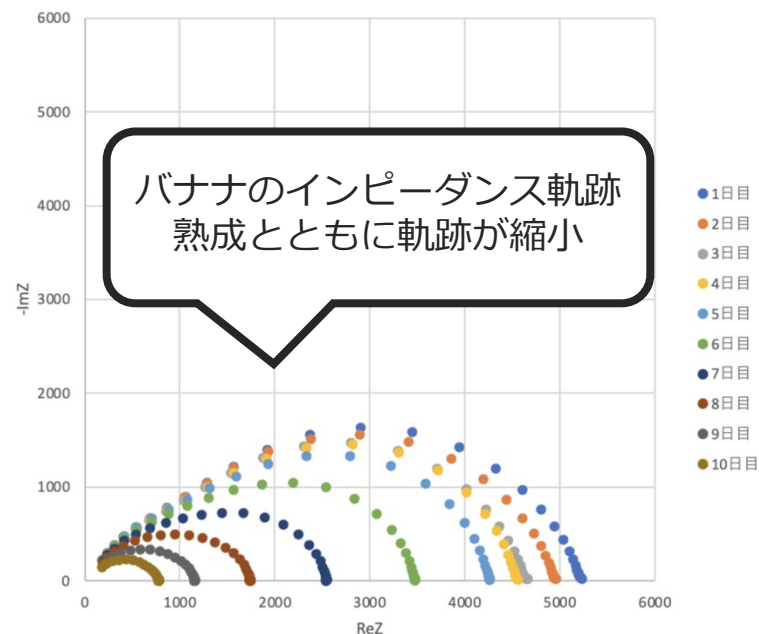
18



トマト



バナナ

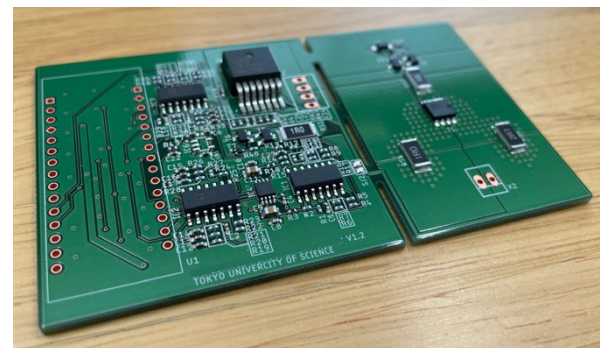


実用化へ向けた課題・企業様への期待

19

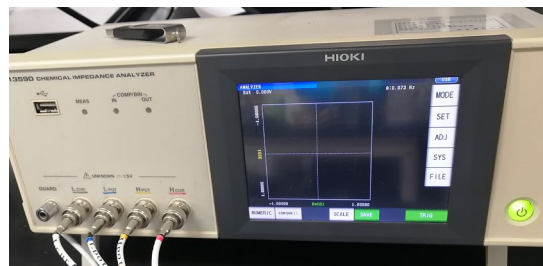
- 二次電池や他の応用も含め、様々なユースケースを確立したい。
- 大量のデータをご提供いただける企業様とコラボレーションを希望。
- 本研究に関連するテーマで過去に6社と8つのプロジェクトを実施し、関連特許を共同出願(一部は権利化)も積極的に行っている。

リチウムイオン電池のための
大量のインピーダンスデータ
を収集する仕組みを開発中



片山研究室保有設備

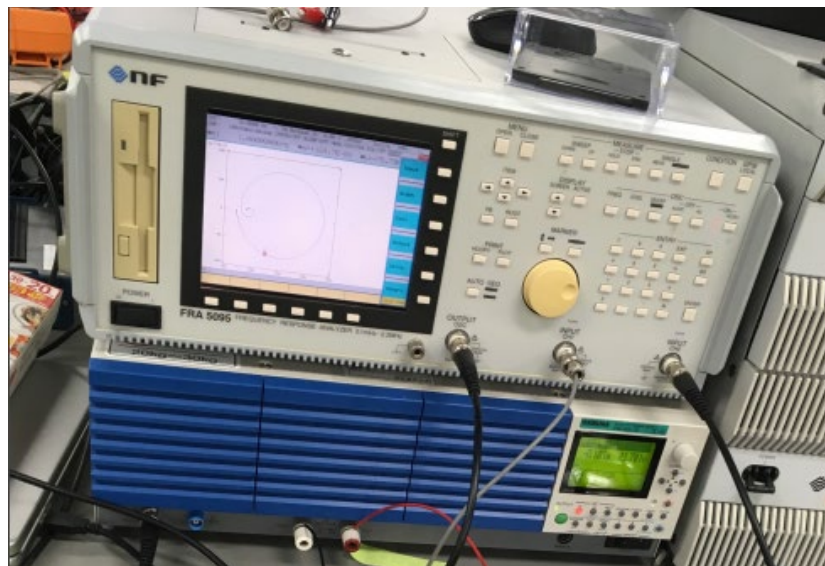
20



ケミカルインピーダンスアナライザー



電気化学測定システム



周波数分析機・バイポーラ電源

本技術に関する知的財産

21

発明の名称	状態推定モデル学習装置、方法、及びプログラム
出願番号	特願2022-086983
出願人	学校法人東京理科大学
発明者	片山 昇

産学連携の経歴

22

2015年-2022年

エネルギーデバイスに関するインピーダンス法の研究(民間企業)

2018年-2021年

電子機器の異常検出手法の研究（民間企業）

2017年-2018年

埼玉県次世代住宅産業プロジェクト（埼玉県、民間企業）

お問合せ先

23

東京理科大学
産学連携機構 高橋 勉

TEL 03-5228-7431

FAX 03-5228-7442

E-mail ura@admin.tus.ac.jp