

2022 OEGセミナー

# 焼損事故予防のためのリチウムイオン電池の良品解析

## ～電池周辺回路や搭載機器の焼損ダメージまで調査～

2022年11月11日

沖エンジニアリング株式会社  
信頼性ソリューション事業部  
坂木 洋平

# 目次

## 1. はじめに

- 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について
- 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧
- 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

## 2. 解析手法

- 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について
- 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容
- 2.3 解析手法の一覧

## 3. 円筒型リチウムイオン電池の良品解析事例

- 3.1 概要
- 3.2 電気的特性検査
- 3.3 外観検査
- 3.4 外形寸法検査、重量測定
- 3.5 X線CT検査
- 3.6 分解検査
- 3.7 セパレータ構造検査
- 3.8 焼損ダメージの調査
- 3.9 解析結果のまとめ

## 4. まとめ

# 目次

## 1. はじめに

- 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について
- 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧
- 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

## 2. 解析手法

- 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について
- 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容
- 2.3 解析手法の一覧

## 3. 円筒型リチウムイオン電池の良品解析事例

- 3.1 概要
- 3.2 電気的特性検査
- 3.3 外観検査
- 3.4 外形寸法検査、重量測定
- 3.5 X線CT検査
- 3.6 分解検査
- 3.7 セパレータ構造検査
- 3.8 焼損ダメージの調査
- 3.9 解析結果のまとめ

## 4. まとめ

# 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について

リチウムイオン電池は、熱や充放電の繰り返しにより、内部電極の劣化が進行する。

(劣化とは、・・・電池の充放電反応に寄与しない、副反応の総称)

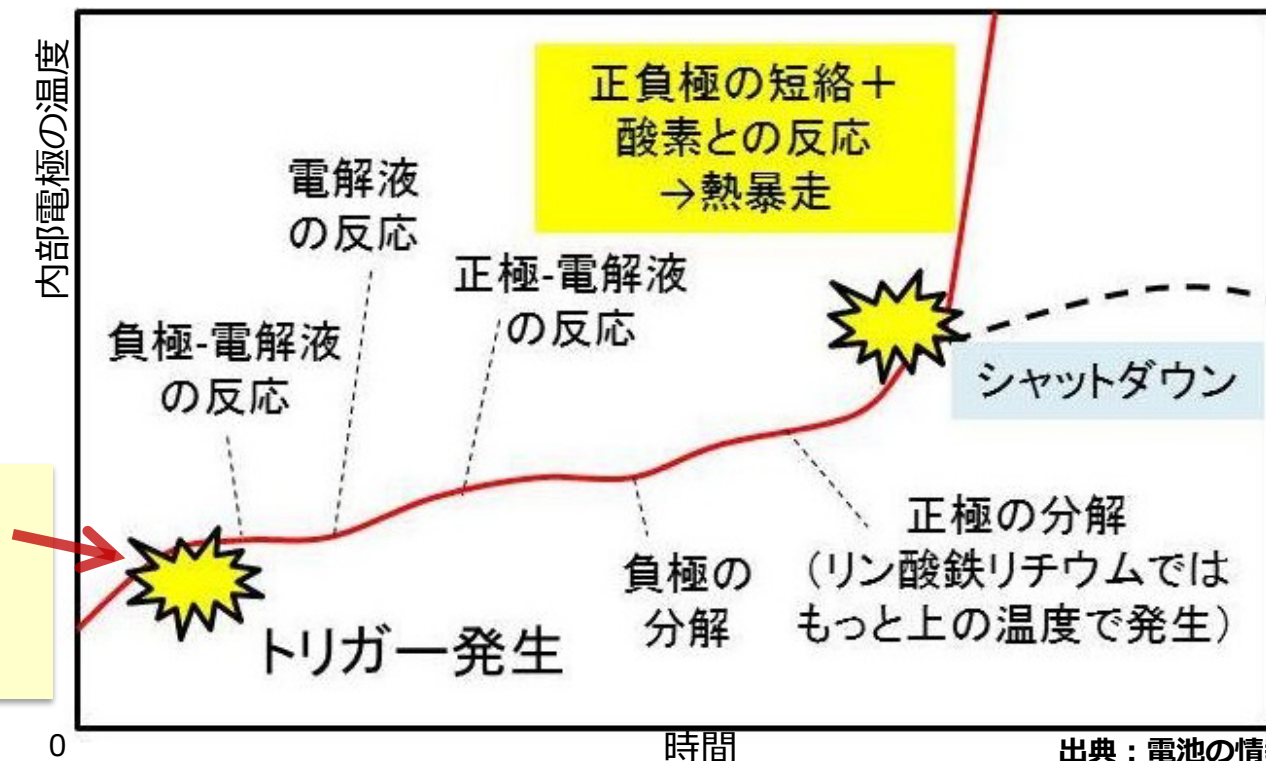
⇒ 劣化などの影響により、リチウムイオン電池内部で短絡などが発生すると、電池の構造上の理由から、熱暴走\*と呼ばれる熱の制御が不能となる反応が起きて、自己発熱が進行し、発煙・発火が発生して、火災などの重大な事故の原因となる場合がある。



過充電による発火事例

## ● トリガー要因

内部短絡、外部短絡、  
過充電、加熱（基板など電池  
以外からの発熱、発火）、複合要因



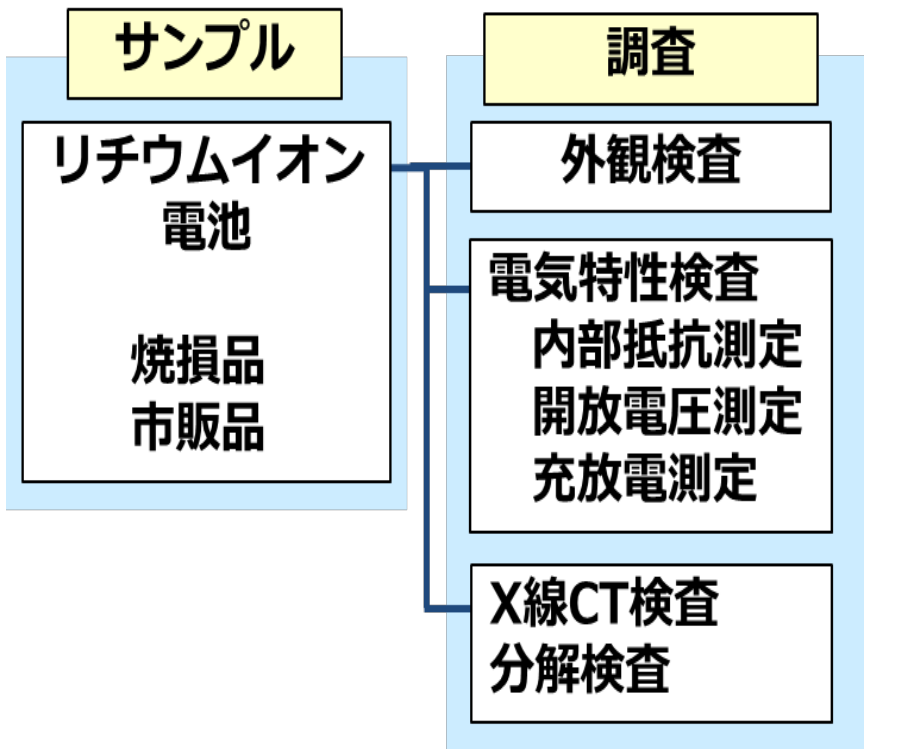
出典：電池の情報サイト

\* 熱暴走 …… リチウムイオン電池の内部電極に於いて、反応が連鎖し、制御が出来なくなる現象や状態

# 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧

電池焼損解析の実施により、焼損メカニズムについての知見などを蓄積した。

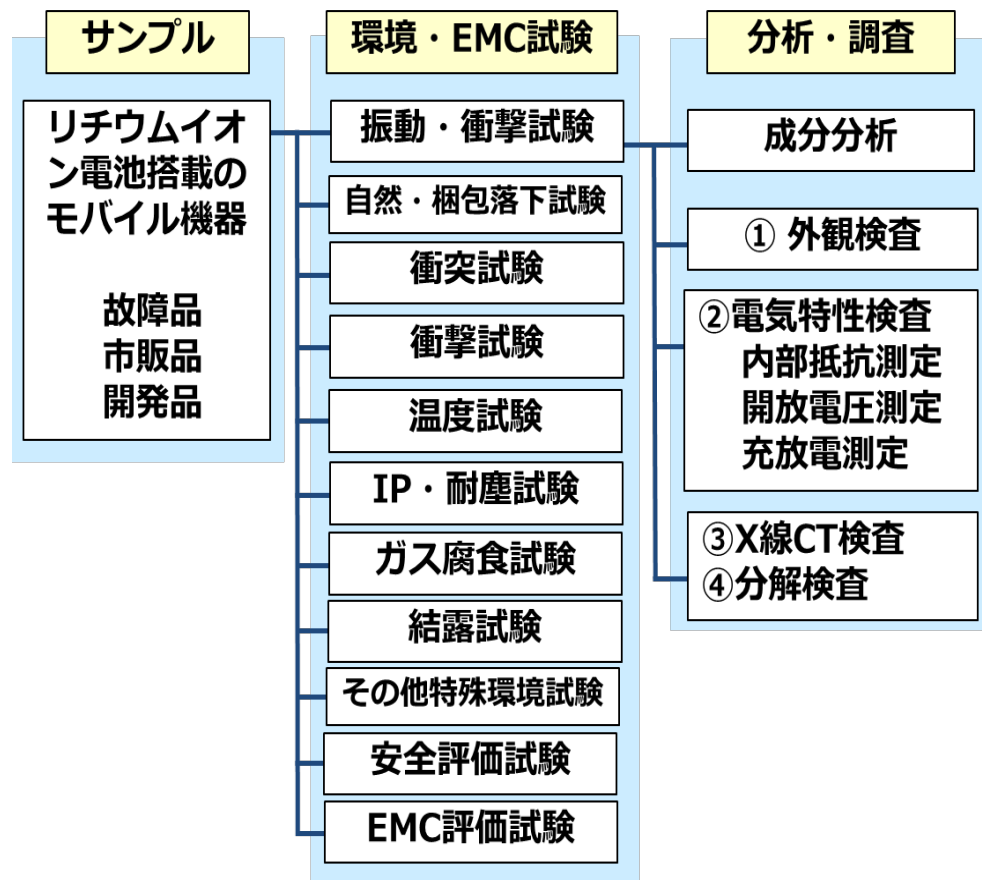
## 電池搭載機器の焼損解析



電池焼損メカニズムについての知見を蓄積

## 電池搭載機器の測定と解析

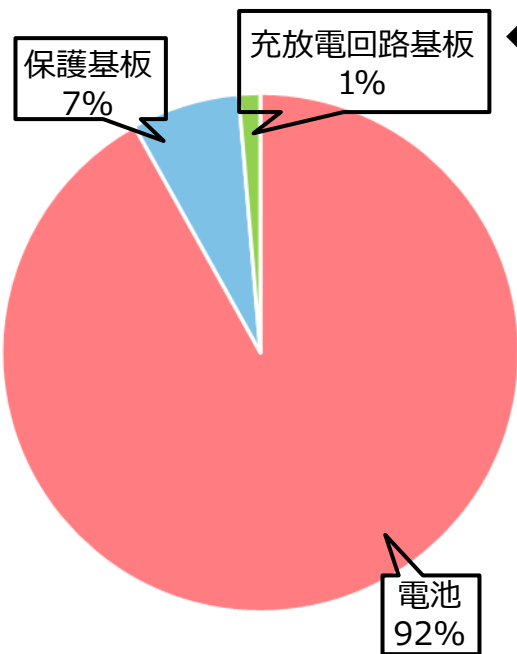
\* 未充電状態で実施



# 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

- 電池の製造品質の問題（焼損の起点）となるような欠陥（セパレータのずれなど）や異常の有無を確認することが有効
- 文献情報ではセパレータの構造による焼損予防技術（セラミックコートの有無）が有効

電池搭載機器の焼損要因の内訳

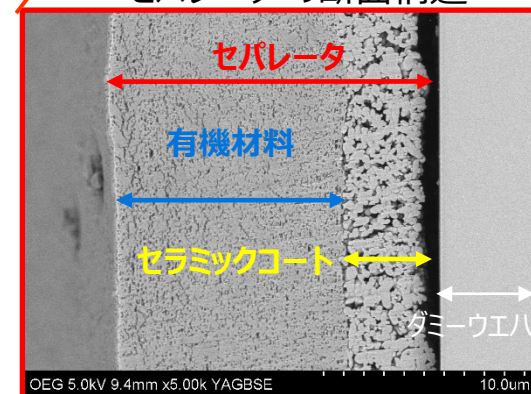
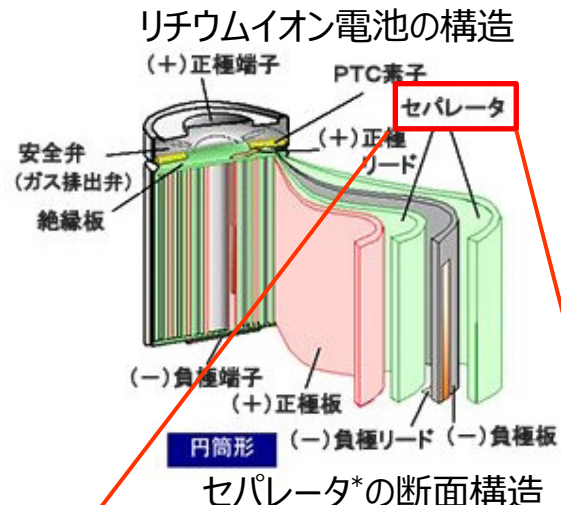


- ◆ 焼損要因として
- **電池**  
→ 大半がセパレータ\*破壊やセパレータずれによる焼損（電池内部ショート）
  - **保護基板**  
→ 大半が電解液付着によるトラッキング焼損（電池液漏れ）
  - **充放電回路基板**  
→ 大半が水濡れによるトラッキングや外部サージによる部品焼損（外部要因）

↓ 大半が電池起因の焼損

焼損事故を予防するための、良品解析項目を構築した

\* セパレータ … 正極と負極間を隔離して内部短絡を防ぐ役割



セラミックコートにより、機械的強度や耐熱性を高め、安全性を向上することが可能

# 目次

## 1. はじめに

- 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について
- 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧
- 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

## 2. 解析手法

- 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について
- 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容
- 2.3 解析手法の一覧

## 3. 円筒型リチウムイオン電池の良品解析事例

- 3.1 概要
- 3.2 電気的特性検査
- 3.3 外観検査
- 3.4 外形寸法検査、重量測定
- 3.5 X線CT検査
- 3.6 分解検査
- 3.7 セパレータ構造検査
- 3.8 焼損ダメージの調査
- 3.9 解析結果のまとめ

## 4. まとめ

## 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について

リチウムイオン電池の良品解析とは、電池の焼損解析や電子部品の良品解析手法をベースにリチウムイオン電池を最適な手法で観察、測定することで、内在する欠陥や不具合構造を検出し、起こりうる不具合と重要度を考慮した判断基準で、対象を評価する技術である。

全ての構造、材質を細かく見るリバーエンジニアリングとは異なり、焼損事故予防のために実施する製造品質確認となる。

- ①焼損故障を起こさないために事前に電池の品質を確認する  
電池に内在する欠陥や不具合構造を検出し、危険性を予測し、評価する。

対象は電池単体（円筒型やラミネート型）、組電池、モジュール、  
充放電制御部（充放電動作、組み立て品質）

- ②焼損が発生した場合の被害規模を推定する（焼損ダメージの調査）  
筐体に内蔵されている電池が焼損した場合の破壊レベルや、周囲への延焼性について評価する。  
電池の強制焼損は過充電、外部加熱により行うので過充電や加熱に対する耐性も評価する。

電池搭載機器

例：モバイルバッテリー、スマートフォン、ドライブレコーダなど



## 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容

本セミナーでは、**枠**の8項目について紹介する。

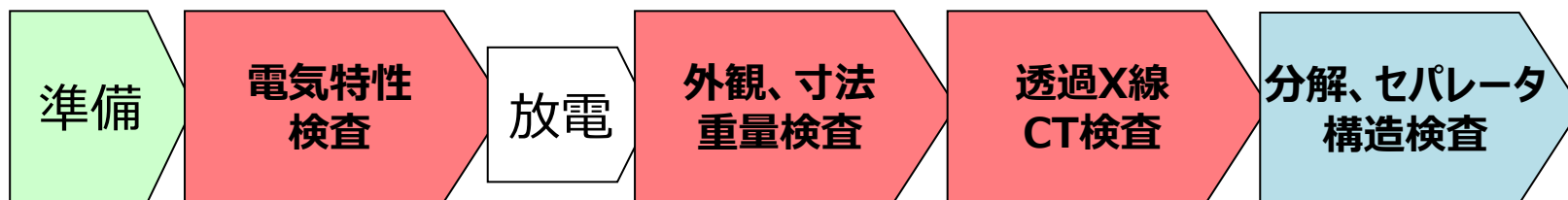
検査項目	対象個数	使用装置	検査対象	検出される欠陥要因（例）
①電気特性検査	5個	バッテリーインピーダンスメーター、充放電測定装置	開放電圧値、内部抵抗値、充放電容量値	<b>抵抗異常</b> 、容量差
②外観検査	5個	実体顕微鏡、デジタルカメラ、マイクロスコープ	安全弁の状態、端子TAB電極の溶接状態、捺印の状態	<b>傷、凹み、穴、臭気</b> 、捺印異常、基板実装不良
③外形寸法検査	5個	測長装置	ケース外形寸法	<b>寸法異常</b> 、膨れ量、変形量
④重量検査	5個	電子天秤	電池重量、乾燥重量（オプション）	<b>重量ばらつき</b>
⑤グロスリーク試験	5個	リーク試験機	気密性	ピンホール、封止異常
⑥透過X線検査	5個	透過X線装置	電池内部状態、電池巻き状態、異物等	巻きずれ、異物混入
⑦X線CT検査	1個	マイクロフォーカスX線CTシステム	内部電極の状態、安全弁の状態	<b>巻き乱れ、巻きずれ</b> 、活物質の塗布ムラ、封止不良
⑧分解検査	1個	実体顕微鏡、デジタルカメラ、マイクロスコープ	内部電極の状態、セパレータのかぶり量、活物質の塗布状態	<b>セパレータずれ、活物質剥離</b> 、活物質塗布ムラ、密着強度不足
⑨セパレータ構造検査	1個	走査型電子顕微鏡、エネルギー分散型分析装置	セパレータの構造	<b>セラミックコートの有無</b>
⑩焼損ダメージの調査	1個	デジタルカメラ、電源、データロガー、ビデオ撮影	電池単体、製品	<b>発煙・発火の有無、発火前後の状態</b>

## 2.3 解析手法の一覧

(事前打合せ)  
目的、着目点の確認  
実施計画策定

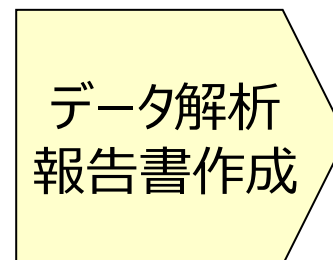
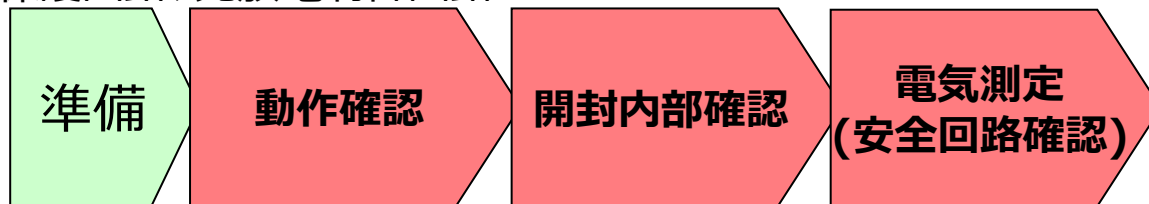
少数（5ヶ程度）のサンプルから、  
その製品の製造品質を推定する（赤ハッチング）  
製品の安全性について評価する（青ハッチング）

### 電池単体

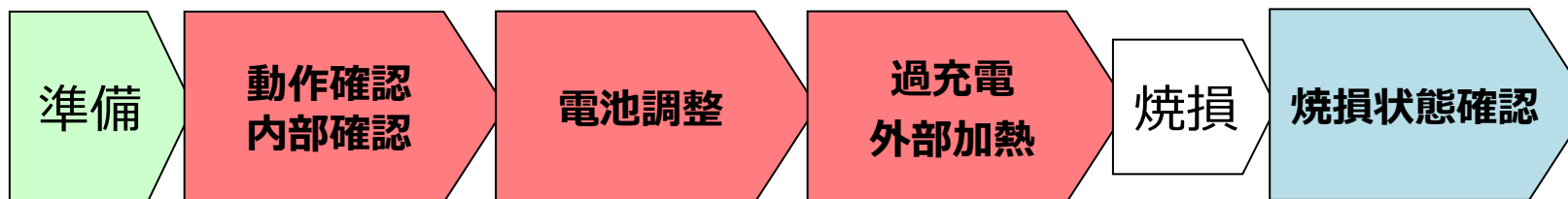


安全性確保

保護回路、充放電制御回路



### 焼損ダメージの調査（電池搭載機器、電池単体）



防爆チャンバー内

# 目次

## 1. はじめに

- 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について
- 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧
- 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

## 2. 解析手法

- 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について
- 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容
- 2.3 解析手法の一覧

## 3. 円筒型リチウムイオン電池の良品解析事例

- 3.1 概要
- 3.2 電気的特性検査
- 3.3 外観検査
- 3.4 外形寸法検査、重量測定
- 3.5 X線CT検査
- 3.6 分解検査
- 3.7 セパレータ構造検査
- 3.8 焼損ダメージの調査
- 3.9 解析結果のまとめ

## 4. まとめ

## 3.1 概要

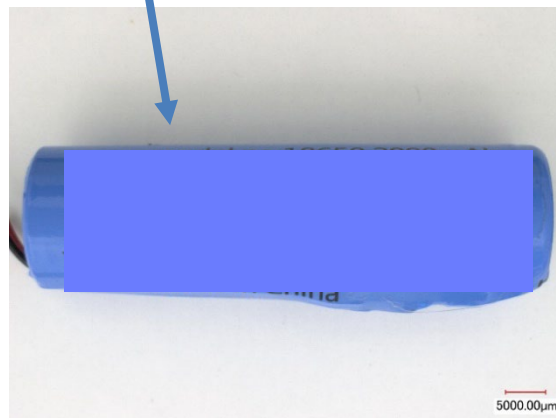
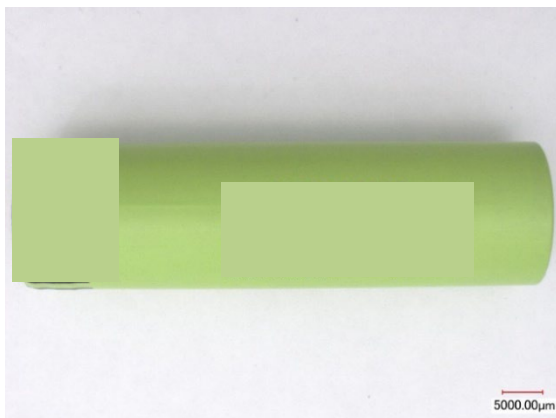
円筒型リチウムイオン電池（18650）を例に、それぞれの各検査結果について紹介する。

対象試料

- ◆ 電池A（電池単体） : 3.7V, 3200mAh, 11.84Wh
- ◆ 電池B（首掛け扇風機内蔵電池） : 3.7V, 2000mAh, 7.4Wh
- ◆ 電池C（電池単体） : 3.7V, 4200mAh, 15.54Wh



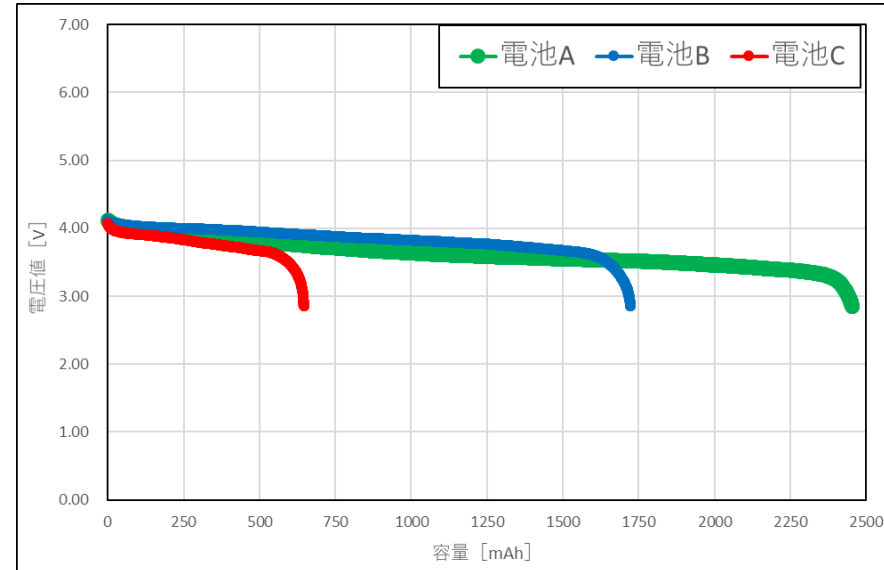
サンプル外観像  
(左：電池A / 中：電池B / 右：電池C)



# 3.2 電気的特性検査

- 検査装置：バッテリーインピーダンスメーター、充放電測定装置
- 検査箇所：±電極間
- 検査項目：内部抵抗値、開放電圧値、充放電容量測定
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池

放電測定結果



サンプル名	放電時間 (h)	スペック値 (mAh)	放電容量値 (mAh)
電池A	6.3	3200	2452
電池B	8.3	2000	1723
電池C	3.0	4200	646

放電測定条件=CCモード、下限2.85V、0.2C

**各電池共にスペック値には達していないが  
電池Cは放電時間（容量値）が著しく低い**

※ 一般の仕様 = 内部抵抗値：100mΩ以下、開放電圧値：4.20~2.75V



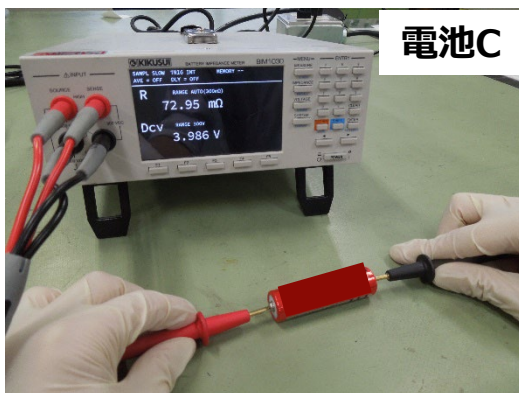
電池A

上段) 内部抵抗値 : 21.41 mΩ  
下段) 開放電圧値 : 3.577V



電池B

上段) 内部抵抗値 : 42.68 mΩ  
下段) 開放電圧値 : 3.842V

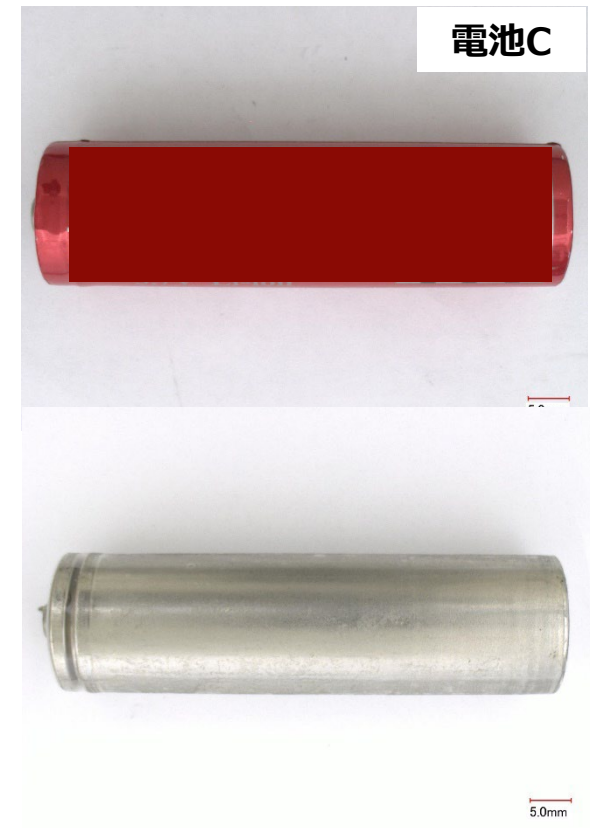
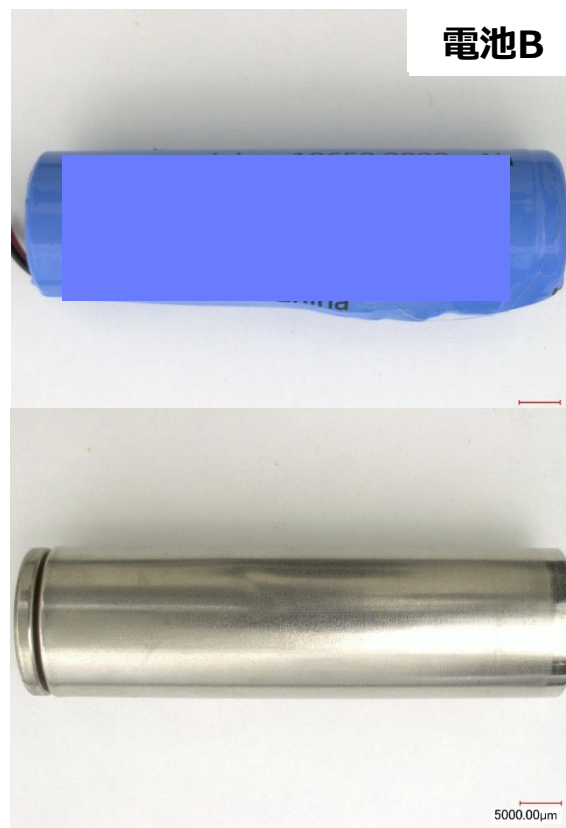


電池C

上段) 内部抵抗値 : 72.95 mΩ  
下段) 開放電圧値 : 3.986V

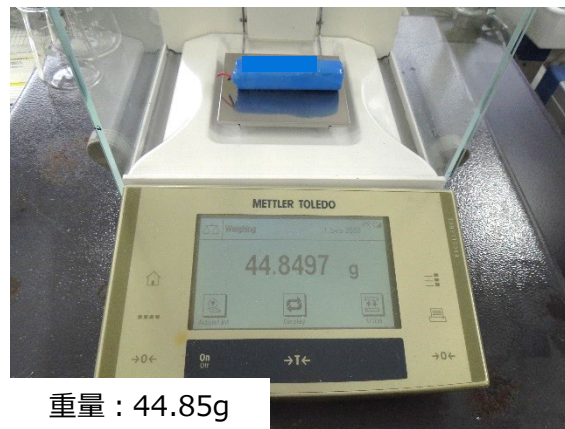
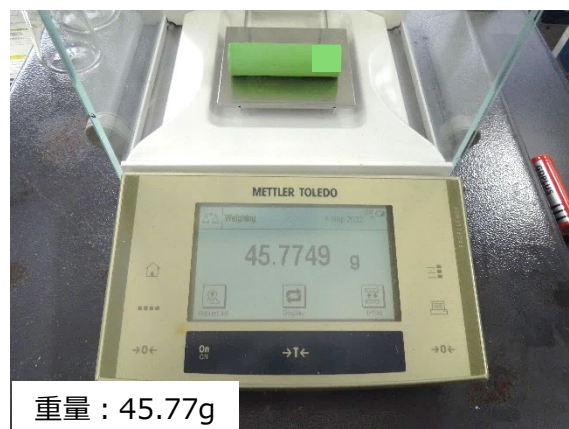
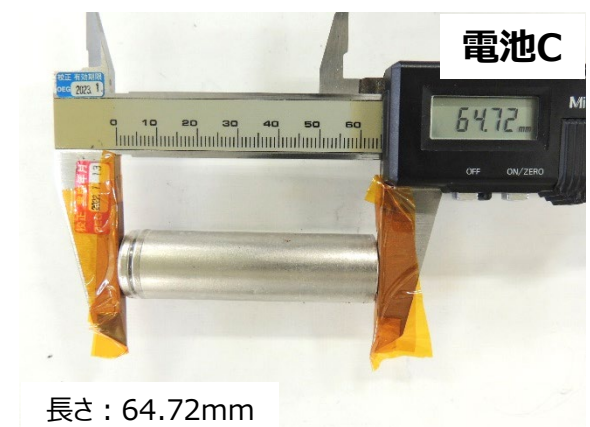
## 3.3 外観検査

- 検査装置：目視、実体顕微鏡、デジタルカメラ、マイクロスコープ
- 検査箇所：電池外部構造
- 検査項目：安全弁の状態、端子TAB電極の溶接状態、捺印の状態、凹み、傷、液漏れの痕跡、汚れの有無
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池



## 3.4 外形寸法検査、重量測定

- 検査装置：測長装置（デジタルノギス）、電子天秤
- 検査箇所：ケース外形寸法、電池重量
- 検査項目：直径、長さ、重量
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池



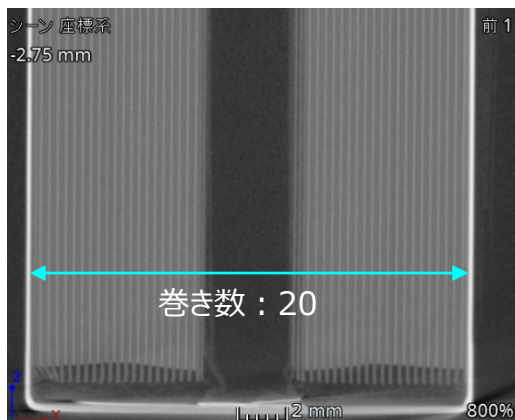
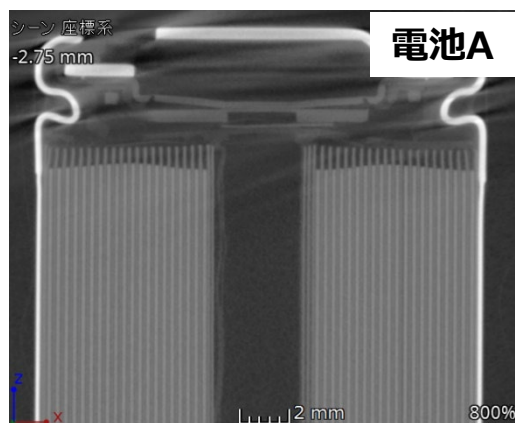
電池A, Bと比較して重量が軽い

# 3.5 X線CT検査

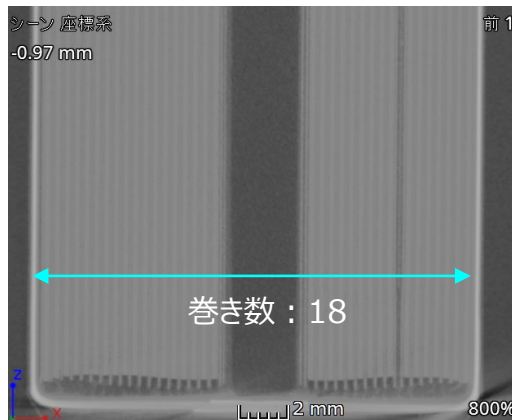
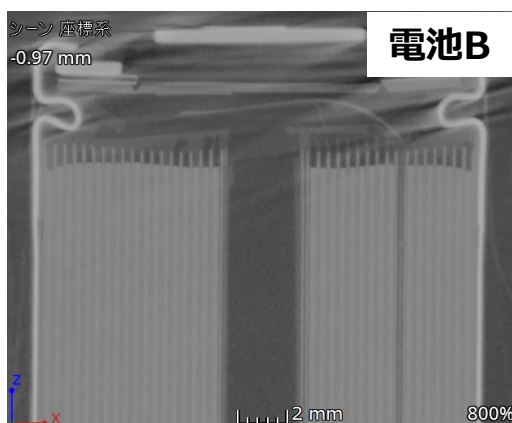
- 検査装置：マイクロフォーカスX線CTシステム
- 検査箇所：電池内部構造
- 検査項目：内部電極の状態、安全弁の状態、異物混入の有無
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池

+側

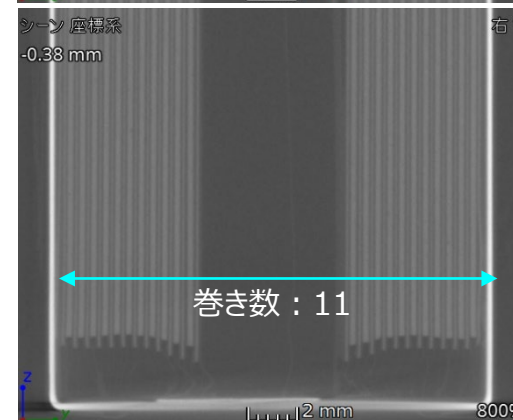
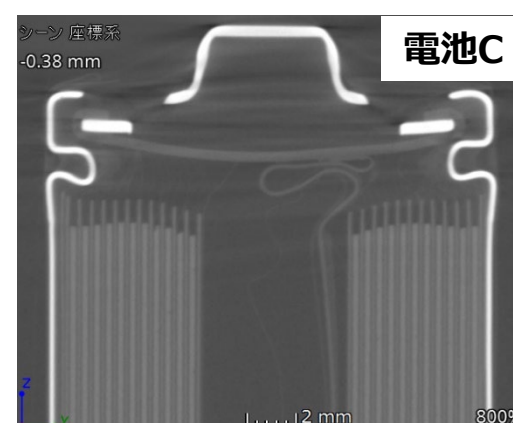
-側



内部組立構造に異常は観察されない



内部組立構造に異常は観察されない

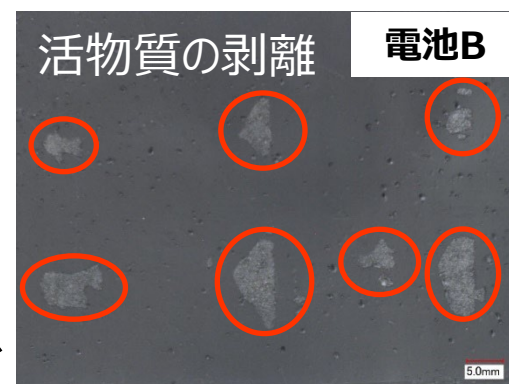
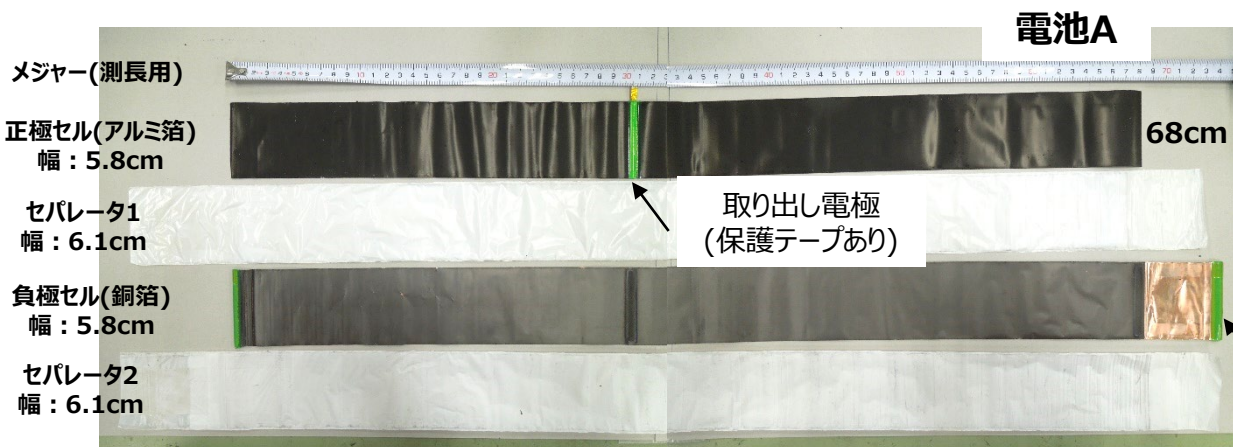


電池A, Bと比較して巻き数が少ない

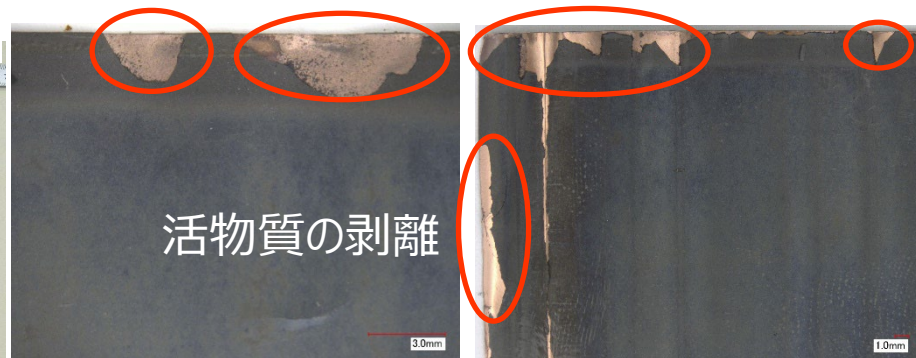
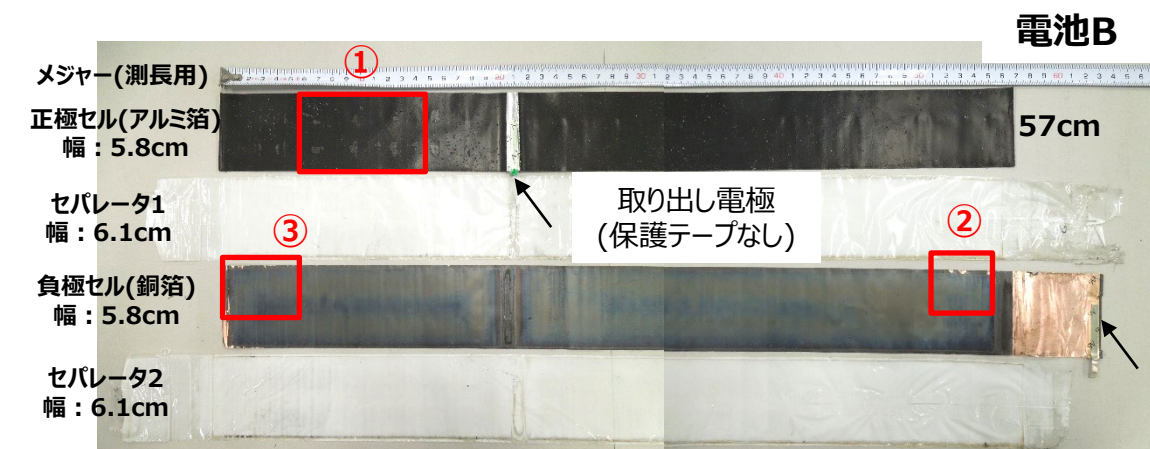


# 3.6 分解検査

- 検査装置：目視、実体顕微鏡、デジタルカメラ、マイクロスコープ
- 検査箇所：電池内部構造
- 検査項目：内部電極の状態、セパレータの被り量、活物質の塗布状態、異物混入の有無
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池（電池A, B 各1個）



①拡大像



②拡大像

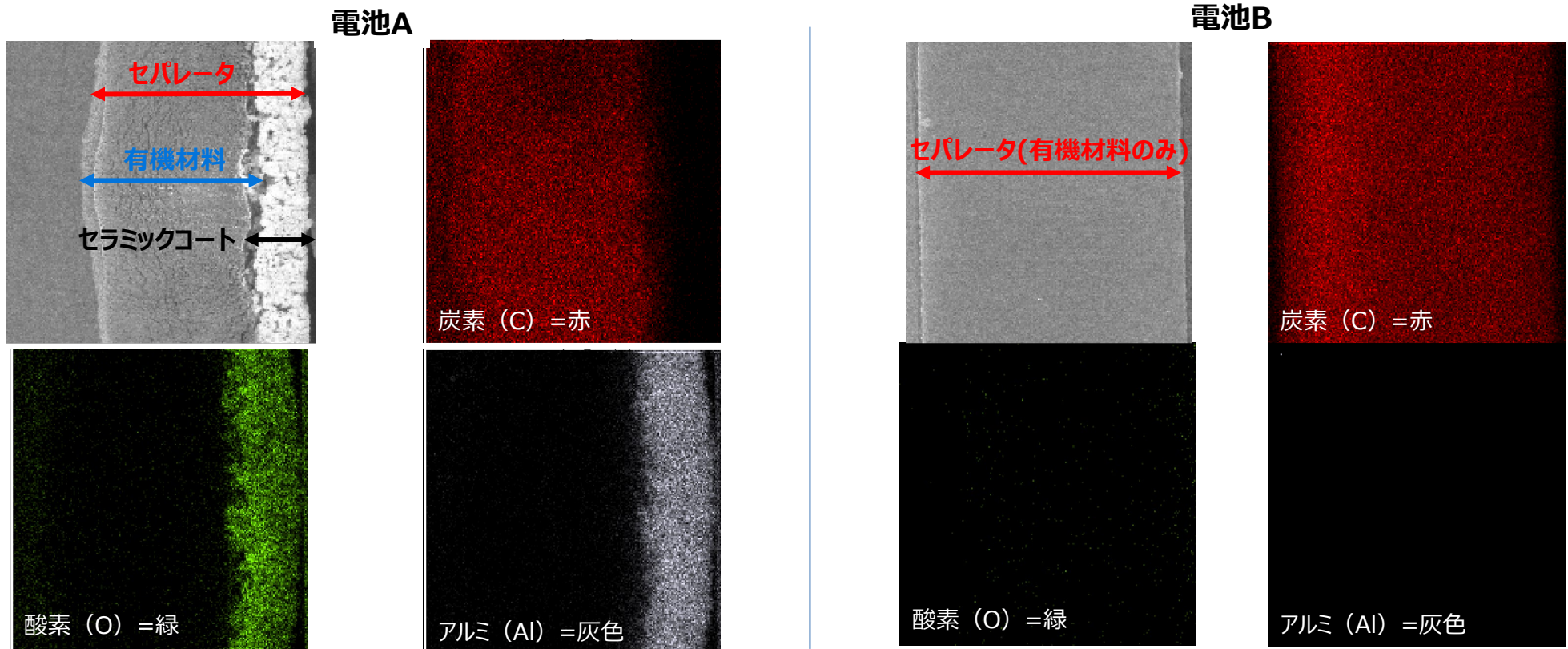
③拡大像

活物質の剥離 ⇒ 内部電極箔の腐食、電解液のガス化の要因

**早期に電池が劣化する可能性が懸念される**

## 3.7 セパレータ構造検査

- 検査装置：イオンミリング装置、走査型電子顕微鏡（SEM）、エネルギー分散型X線分析装置（SEM-EDX）
- 検査箇所：セパレータ
- 検査項目：セパレータの構造（セラミックコートの有無）
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池（電池A, B 各1個）

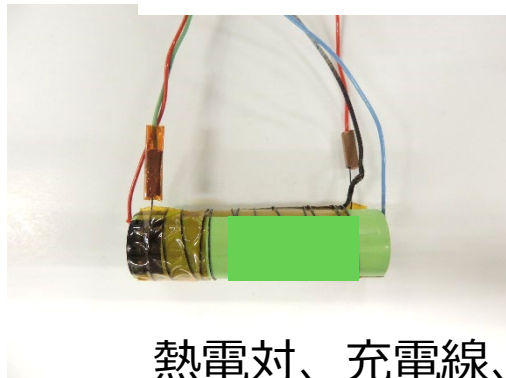


**電池Bはセラミックコートがないためセパレータの耐性は低いと懸念される**

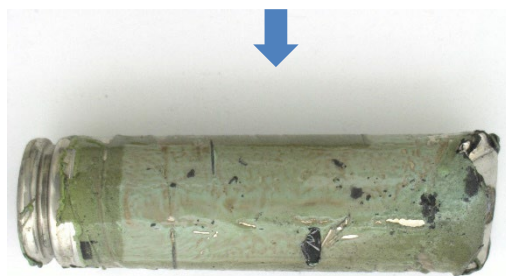
## 3.8 焼損ダメージの調査1/3

- 検査装置：デジタルカメラ、電源、データロガー、ビデオ撮影
- 評価項目：焼損前後の撮影、電圧値、電流値、温度の測定およびビデオ撮影
- 評価方法
  - ①保護回路を経由せず、電池に直接配線を接続、電源（6.6A, 42V設定）による過充電を実施
  - ②電池に巻き付けたニクロム線に通電し、外部より加熱を実施
- 対象試料：円筒型リチウムイオン電池（電池A：1個[電池単体], 電池B：2個[電池単体、製品搭載状態 各1個]）

電池A（電池単体）



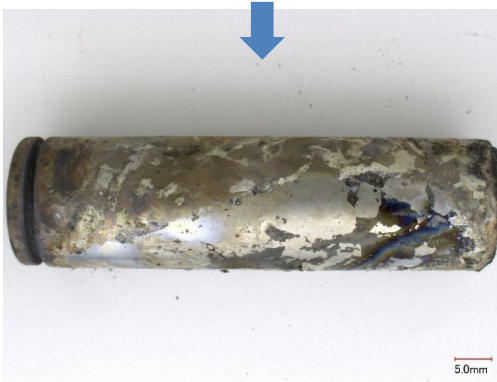
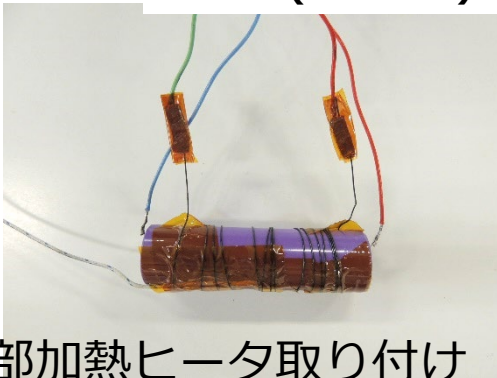
熱電対、充電線、外部加熱ヒータ取り付け



過充電および  
外部過熱により発火

5.0mm

電池B（電池単体）



過充電のみで発火

5.0mm

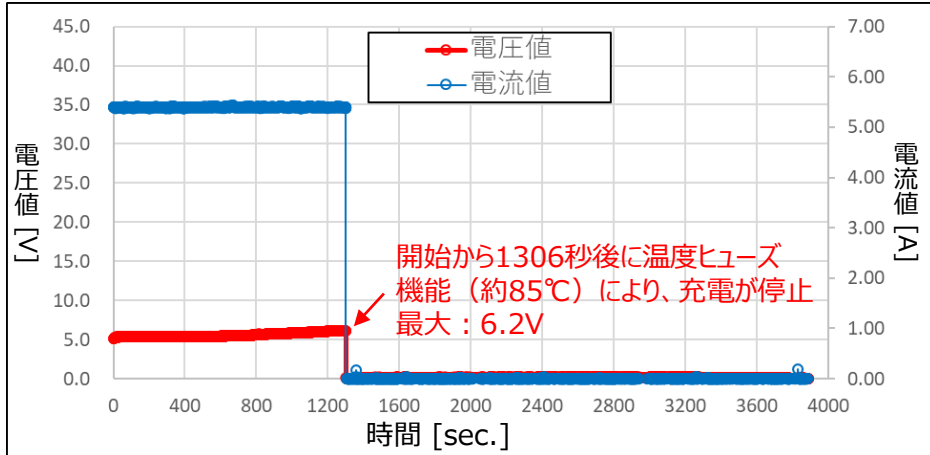
電池B（製品搭載状態）



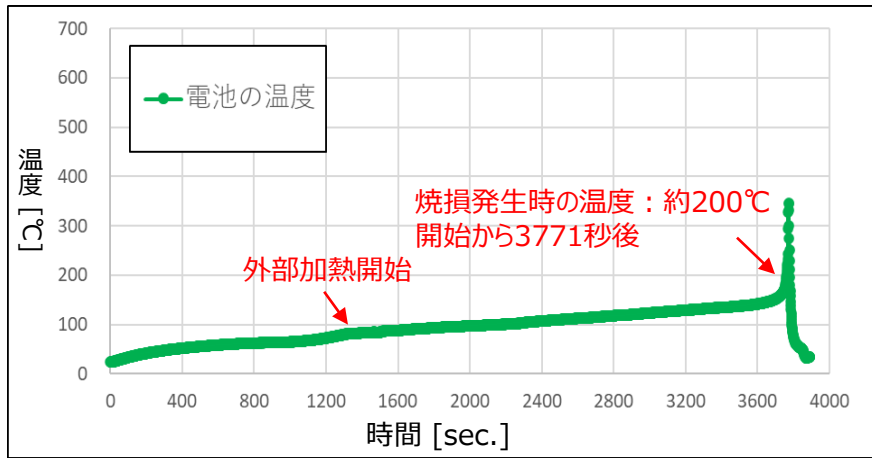
過充電のみで発火

# 3.8 焼損ダメージの調査2/3

電池A (電池単体)

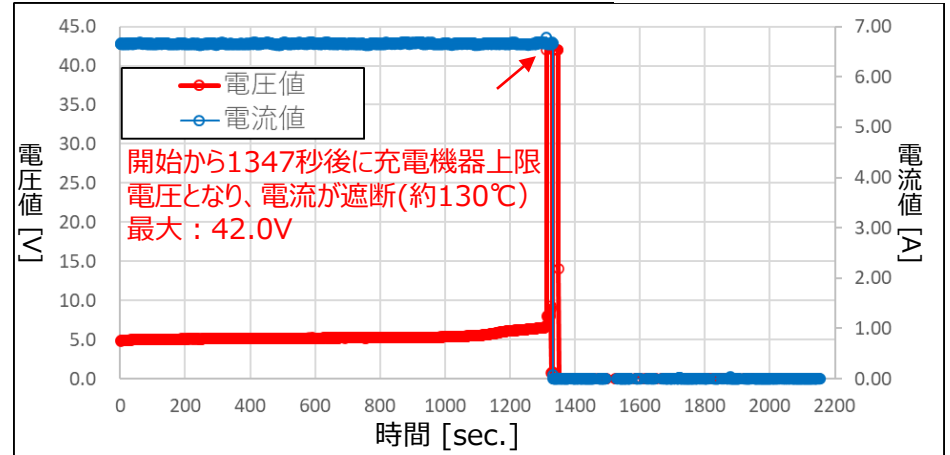


電圧値および電流値測定結果

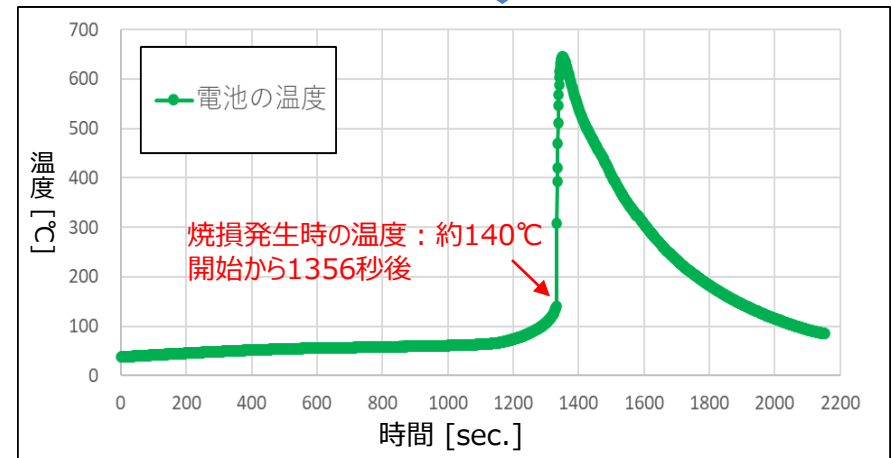


電池の温度変化

電池B (電池単体)



電圧値および電流値測定結果



電池の温度変化

**電池Bは過充電で焼損が発生したことから、焼損耐性は低いと懸念される**

## 3.8 焼損ダメージの調査3/3

### 過充電による発火再現実験事例（電池B 製品搭載状態）



過充電試験後 観察像



電池搭載部 拡大観察像

**筐体樹脂や内蔵基板に激しい焼損を確認**

## 3.9 解析結果のまとめ

### 電池A

- 外観状態、内部とも欠陥がなく、製造品質は良好であった。
- セパレータはセラミックコート（シングルコート）されたものであった。
- 過充電での焼損はなく、外部加熱でも焼損発生温度が約200度と高く、電池の焼損耐性は高かった。

### 電池B

- 外部電極の錆や活物質の剥離等、品質に問題点が確認された。
- セパレータはセラミックコートされていない。
- 過充電での焼損が確認されたことから、電池の焼損耐性は低かった。
- 焼損時の筐体は破壊が激しく、筐体樹脂ならびに内蔵基板への延焼が確認された。
- 筐体の強化、難燃化対策が望まれる。

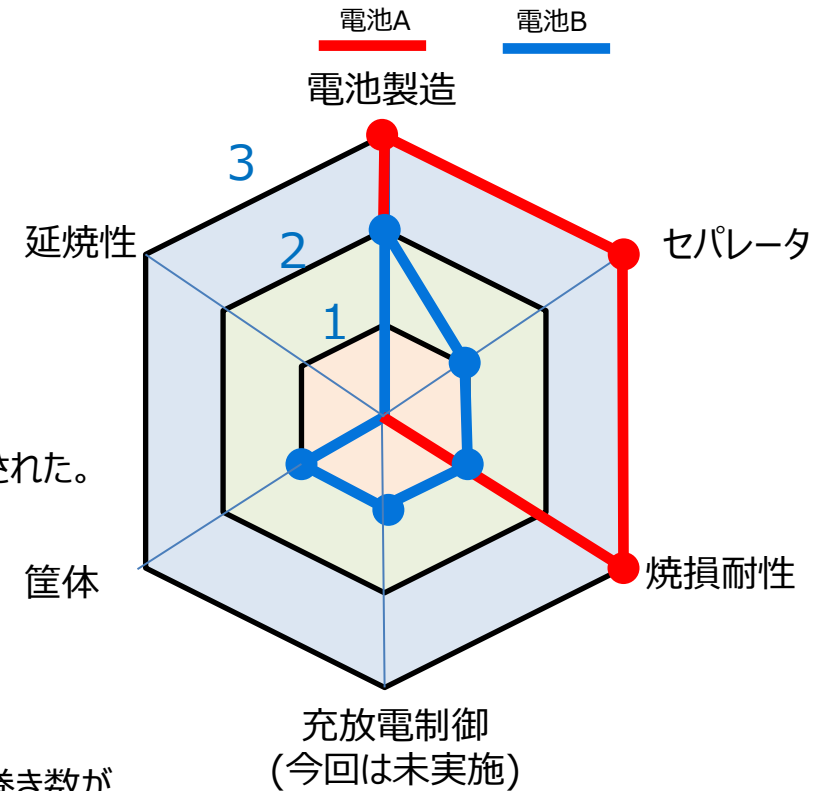
### 電池C

- 放電時間（容量値）が極端に低いこと、電池重量が軽いこと、内部電極の巻き数が少ないこと等から、規格不良品である可能性が高いと考えられる。

評価項目

電池A：電池製造、セパレータ、焼損耐性

電池B：電池製造、セパレータ、焼損耐性、延焼性、筐体



# 目次

## 1. はじめに

- 1.1 リチウムイオン電池の焼損事故について
- 1.2 リチウムイオン電池の焼損解析項目の一覧
- 1.3 リチウムイオン電池の焼損要因について

## 2. 解析手法

- 2.1 リチウムイオン電池の良品解析について
- 2.2 リチウムイオン電池の良品解析の検査内容
- 2.3 解析手法の一覧

## 3. 円筒型リチウムイオン電池の良品解析事例

- 3.1 概要
- 3.2 電気的特性検査
- 3.3 外観検査
- 3.4 外形寸法検査、重量測定
- 3.5 X線CT検査
- 3.6 分解検査
- 3.7 セパレータ構造検査
- 3.8 焼損ダメージの調査
- 3.9 解析結果のまとめ

## 4. まとめ

## 4. まとめ

- リチウムイオン電池の良品解析および焼損ダメージの調査についてご紹介いたしました。
- 良品解析および焼損ダメージの調査は、電池単体や製品全体（リチウムイオン電池、基板、実装部品）での解析が可能です。
- OKIエンジニアリングでは、これまでに実施した電池の焼損解析の経験や知見を活かして、リチウムイオン電池の良品解析や様々な試験・評価を行い、お客様へのサービスを提供いたします。
- 全固体電池の信頼性評価サービスを開始しました。

[HP：全固体電池の信頼性評価サービス開始 | プレスリリース | OKI](#)

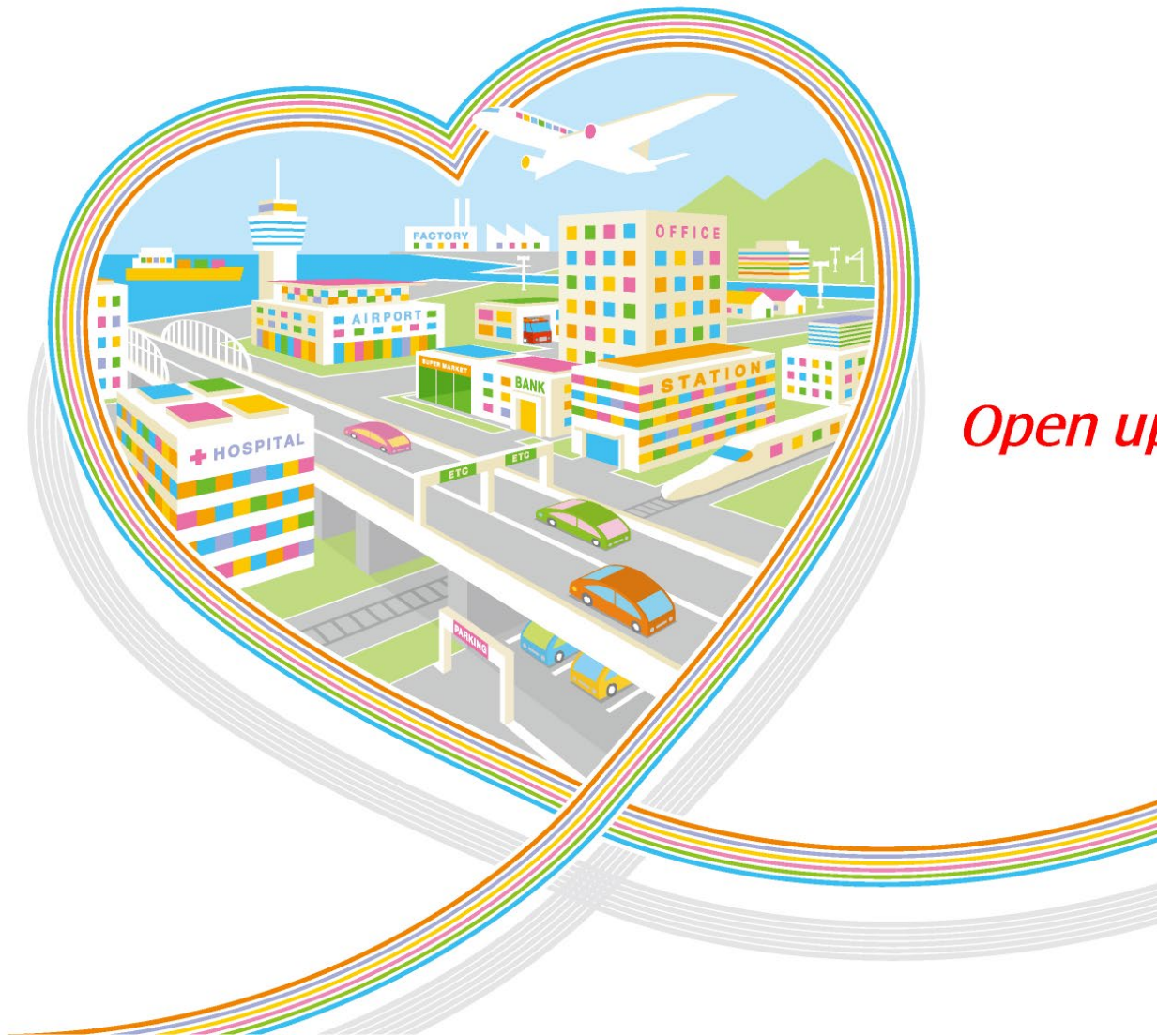
\* 全固体電池 … 繰り返し充放電できる二次電池の一種で、イオンが行き交う正極と負極間にある電解質が固体となっている電池



プレスリリース  
詳細はこちら



# ご清聴いただき、ありがとうございました



*Open up your dreams*

## 沖エンジニアリング株式会社

- 信頼性ソリューション事業部
- 担当 : 坂木 洋平
- TEL : 03-5920-2366
- E-mail : oeg-solution@oki.com
- URL : <https://www.oeg.co.jp/>