2021 OEGセミナー

# リチウムイオン電池の焼損事故調査

## ～発火したリチウムイオン電池搭載製品の解析手法について～

2021年9月10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
小岩　賢太郎

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 目次

## 1. はじめに
1.1 リチウムイオン電池の概要
1.2 リチウムイオン電池の普及
1.3 リチウムイオン電池及び搭載製品の問題点

## 2. 解析手法
2.1 解析手法の一覧
2.2 ①外観検査
2.3 ②電気特性検査
2.4 ③X線CT検査
2.5 ④分解検査

## 3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例
3.1 ①外観検査
3.2 ③X線CT検査
3.3 ④分解検査
3.4 分析結果まとめ

## 4. まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 目次

1. はじめに
1.1 リチウムイオン電池の概要
1.2 リチウムイオン電池の普及
1.3 リチウムイオン電池及び搭載製品の問題点

2. 解析手法
2.1 解析手法の一覧
2.2 ①外観検査
2.3 ②電気特性検査
2.4 ③X線CT検査
2.5 ④分解検査

3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例
3.1 ①外観検査
3.2 ③X線CT検査
3.3 ④分解検査
3.4 分析結果まとめ

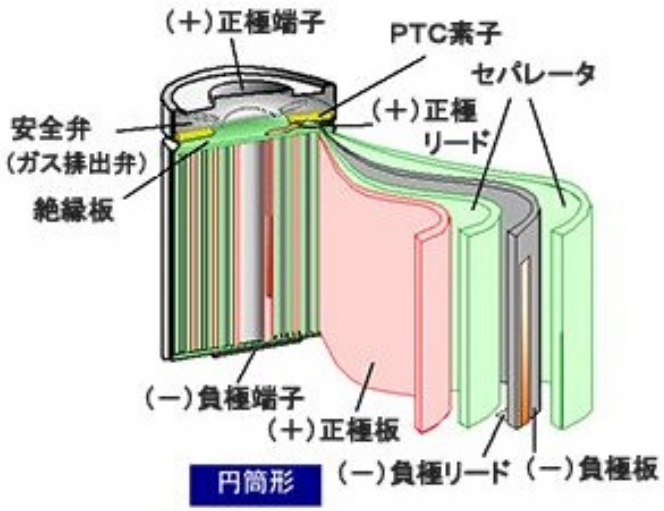
4. まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.1 リチウムイオン電池の概要（1/2）

**リチウムイオン電池とは、繰り返しの充放電が可能であり、エネルギー密度が高く、小型で軽い特徴をもっている。**

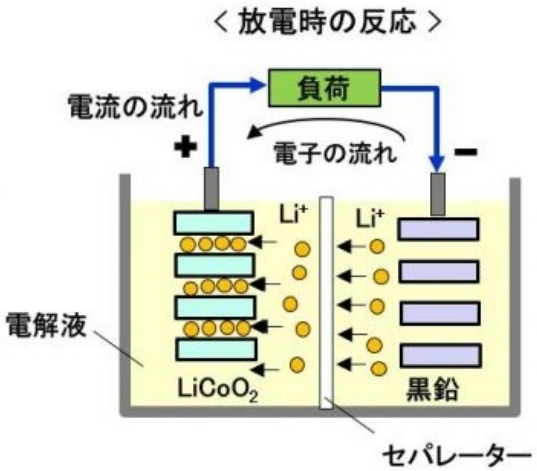
## ■ リチウムイオン電池の構造と特徴

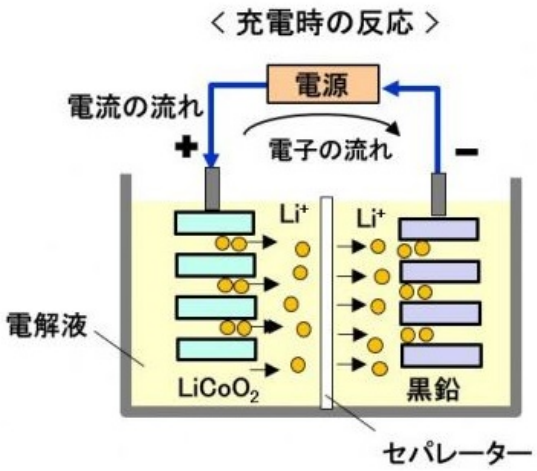



出典：㈱UBE科学分析センター

**~ 特徴 ~**
- 繰り返し充放電が可能
- 高エネルギー密度、高電圧
- 小型、軽量

## ■ リチウムイオン電池の動作原理




放電) 6C + LiCoO2 → LinC6 + Li(1-X)CoO2　　充電) 6C + LiCoO2 ← LinC6 + Li(1-X)CoO2

出典：自動車ニュース　クリッカー

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.1 リチウムイオン電池の概要（2/2）

**リチウムイオン電池は、形状の自由度が高く、円筒型・角型・ラミネート型に大別される。電池の形状も豊富なことから、さまざまな分野の製品に使用（搭載）されている。**

## ■ リチウムイオン電池の種類

| 種類 | 外装の材質 | 特徴 |
|---|---|---|
| 円筒型 | 鉄缶 | 抵コスト、高容量（同じ体積で）<br>外径寸法は安定しているが、組み合わせた時に隙間が多く搭載密度が小さくなる |
| 角型 | 鉄缶、アルミ缶 | 軽量化の為、アルミ缶が多くなっている<br>充放電サイクルに伴い、厚さが膨らむ場合がある |
| ラミネート型 | ラミネートフィルム | 内部の電解液が、液体とゲルの中に電解液を封じ込めたポリマータイプがある<br>どちらも充放電サイクルに伴い、厚さが膨らむ場合がある |

## ■ リチウムイオン電池搭載製品の例

ドライブレコーダー

モバイルバッテリー/スマートフォン

電動工具

電気シェーバー

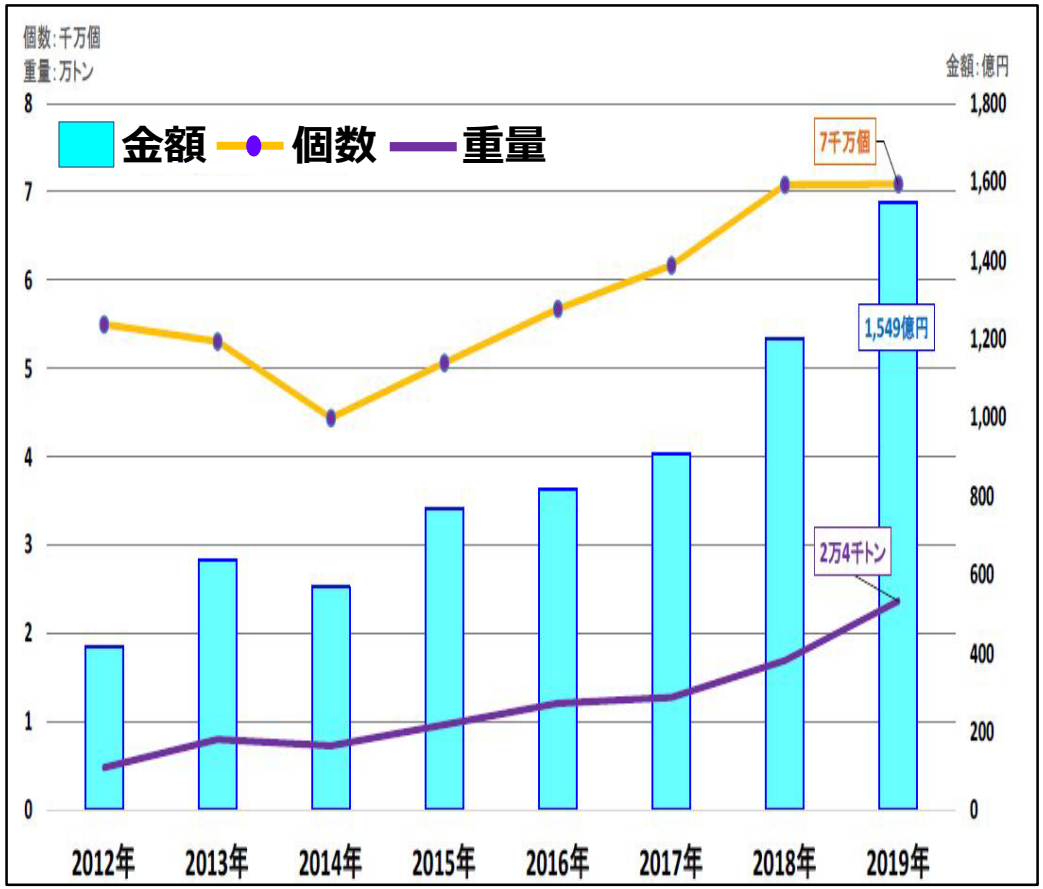
電動自転車

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.2 リチウムイオン電池の普及

**リチウムイオン電池の普及に伴い、中国・韓国などからの輸入数も増加している。**

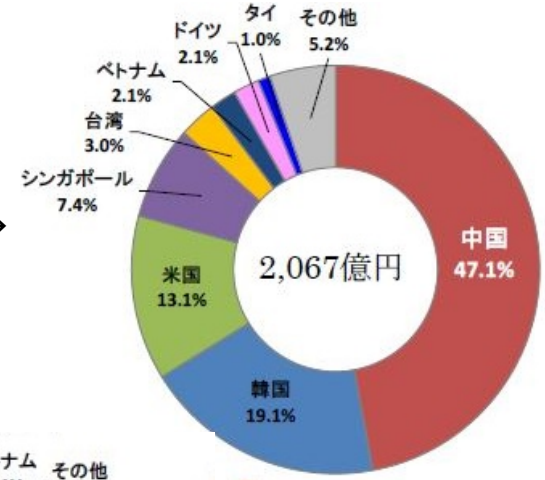
## ■ リチウムイオン電池の輸入金額、個数、重量の推移

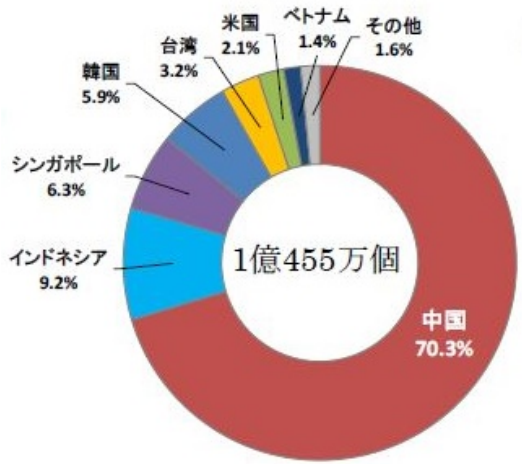



出典：東京関税　調査部

## ■ 2019年　原産国別 蓄電池の輸入金額、個数構成比

輸入金額 →




← 輸入個数

出典：東京関税　調査部

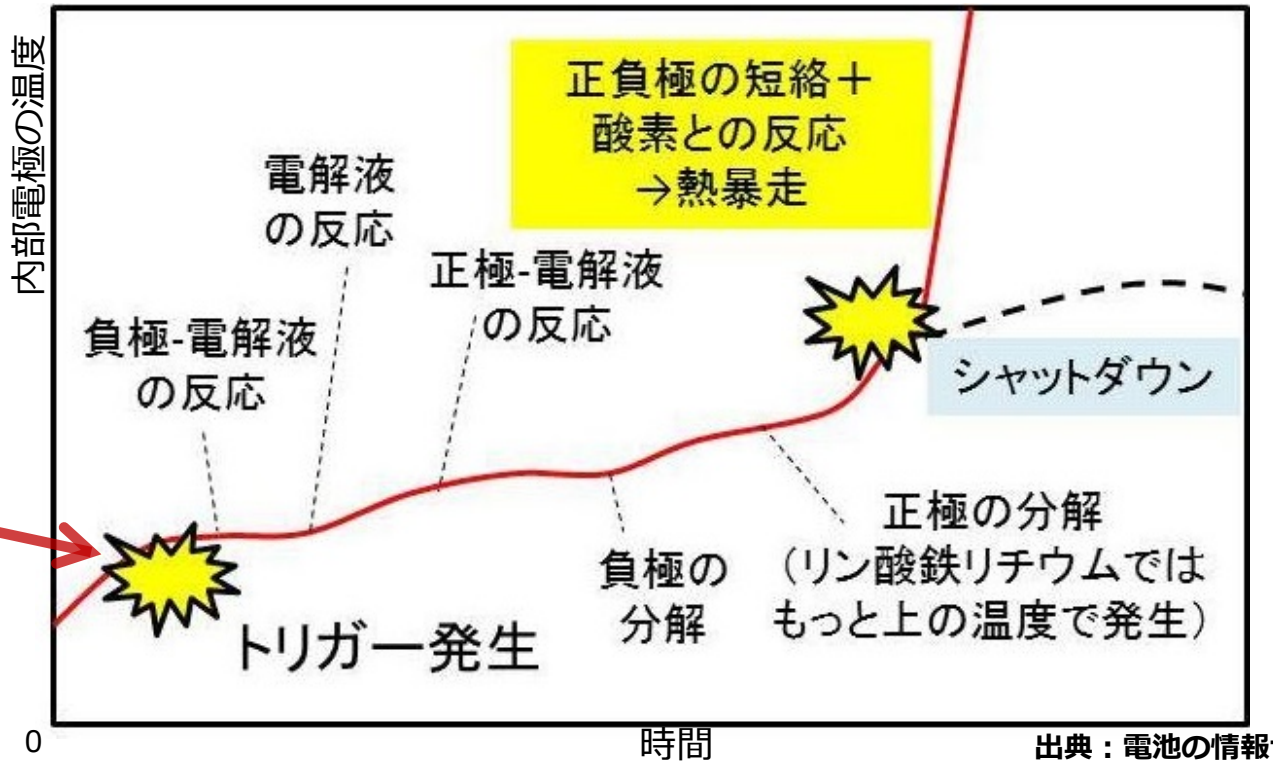
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.3 リチウムイオン電池および搭載製品の問題点（1/3）

**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、熱暴走と呼ばれる反応が起きて、自己発熱が進行し、熱の制御が不能となり、発炎・発火が発生して火災など事故の起点となる場合がある。**




出典：電池の情報サイト

● **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**

■ **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**

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.3 リチウムイオン電池および搭載製品の問題点（2/3）

## 過充電による発火再現実験事例（動画）

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 1.3 リチウムイオン電池および搭載製品の問題点（3/3）

① 輸送制約により、電池が焼損した場合、原産国（中国、韓国等）への返品は困難。
⇒ 故障品の解析を国内にて実施する必要がある
② 電池の製造会社では、周辺の基板や実装部品の解析が行えない場合がある。
③ 国内では焼損の度合により、第三者機関の見解を求められる。

➡ **OKIエンジニアリングでは、国内で電池から電池搭載製品（基板＋部品）まで全ての解析を第三者機関として実施しております。**

## 空輸規制の例

（出典元：ANA Cargo HPより抜粋）

【旅客機による輸送の禁止】
・関係規則により、リチウムイオン電池単体は、旅客機にて航空貨物として輸送することが禁止されています。

・2018年1月1日発行の関係規則により、旅客機にて航空貨物として輸送することが禁止となっているだけでなく、以下の内容も遵守する必要がありますので、ご注意下さい。

① Section IA および Section IB に該当するリチウムイオン電池は、区分 1.4S を除く第1分類(火薬類)、区分2.1(引火性ガス)、第3分類(引火性液体)、区分4.1(可燃性固体)、または区分5.1(酸化性物質)に該当する危険物と同じ外装容器に収納してはなりません。

② Section IA Section IBおよび Section Ⅱ に該当するリチウムイオン電池は、区分 1.4S を除く第1分類(火薬類)、区分2.1(引火性ガス)、第3分類(引火性液体)、区分4.1(可燃性固体)、または区分5.1(酸化性物質)に該当する危険物と同じオーバーパックに入れてはなりません。

③ Section II に該当するリチウムイオン電池は、他の危険物と同じ外装容器に収納してはなりません。

④ Section IIの要件に従った包装物は、1 個のみオーバーパックに入れることができます。しかし、そのオーバーパックは、区分 1.4S を除く第1分類(火薬類)、区分2.1(引火性ガス)、第3分類(引火性液体)、区分4.1(可燃性固体)、または区分5.1(酸化性物質)に該当する危険物を入れてはなりません。また、そのオーバーパックは、お互いに危険な反応をする物質を含む包装物を入れてはなりません。

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 目次

1. はじめに
1.1 リチウムイオン電池の概要
1.2 リチウムイオン電池の普及
1.3 リチウムイオン電池及び搭載製品の問題点

2. 解析手法
2.1 解析手法の一覧
2.2 ①外観検査
2.3 ②電気特性検査
2.4 ③X線CT検査
2.5 ④分解検査

3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例
3.1 ①外観検査
3.2 ③X線CT検査
3.3 ④分解検査
3.4 分析結果まとめ

4. まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 2.1　解析手法の一覧

## リチウムイオン電池搭載製品（モバイル機器など）、リチウムイオン電池の試験・調査一覧

### サンプル

リチウムイオン電池搭載のモバイル機器

故障品
市販品
開発品

### 環境・EMC試験

- 振動・衝撃試験
- 自然・梱包落下試験
- 衝突試験
- 衝撃試験
- 温度試験
- IP・耐塵試験
- ガス腐食試験
- 結露試験
- その他特殊環境試験
- 安全評価試験
- EMC評価試験

### 分析・調査

- 成分分析
- ① 外観検査
- ②電気特性検査
  内部抵抗測定
  開放電圧測定
  充放電測定
- ③X線CT検査
- ④分解検査

### サンプル

リチウムイオン電池

焼損品
市販品

### 調査

- 外観検査
- 電気特性検査
  内部抵抗測定
  開放電圧測定
  充放電測定
- X線CT検査
  分解検査

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

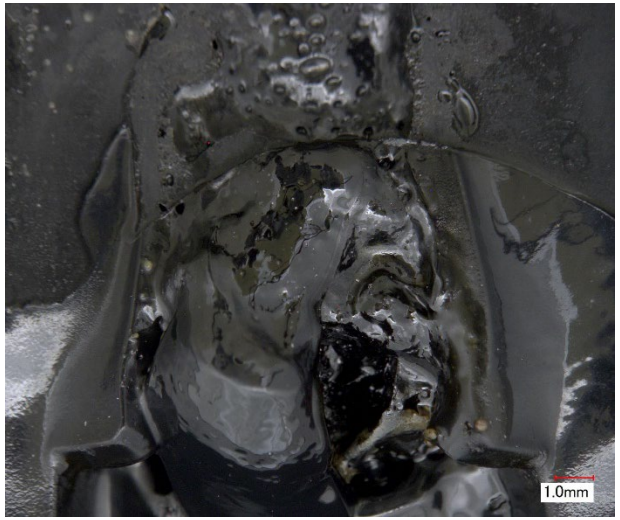
# 2.2 ①外観検査

デジタルカメラ、実体顕微鏡、デジタルマイクロスコープを使用し、
試料の状態を確認する。状況により、良品との比較を行う。

## ■ 事例 （ドライブレコーダーの外観像）

デジタルカメラ 像（等倍）

実体顕微鏡 像（×3）




デジタルマイクロスコープ 像
（×100）

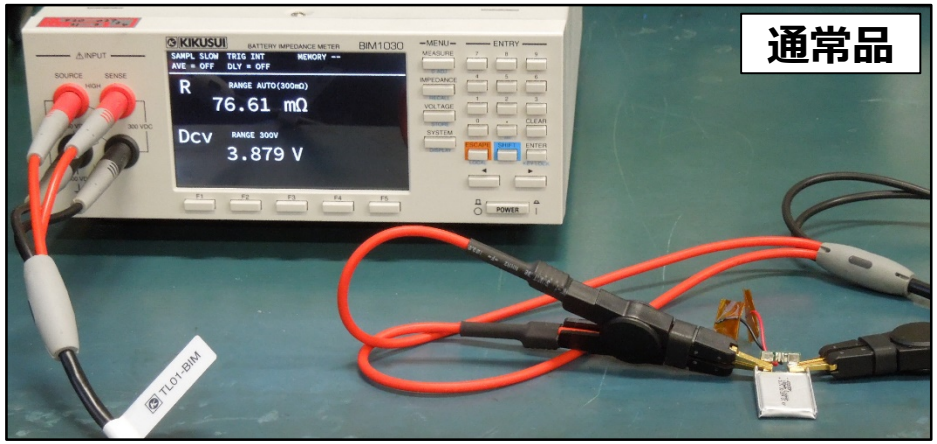
最小（等倍） ← 検査倍率 → 最大（×2000）

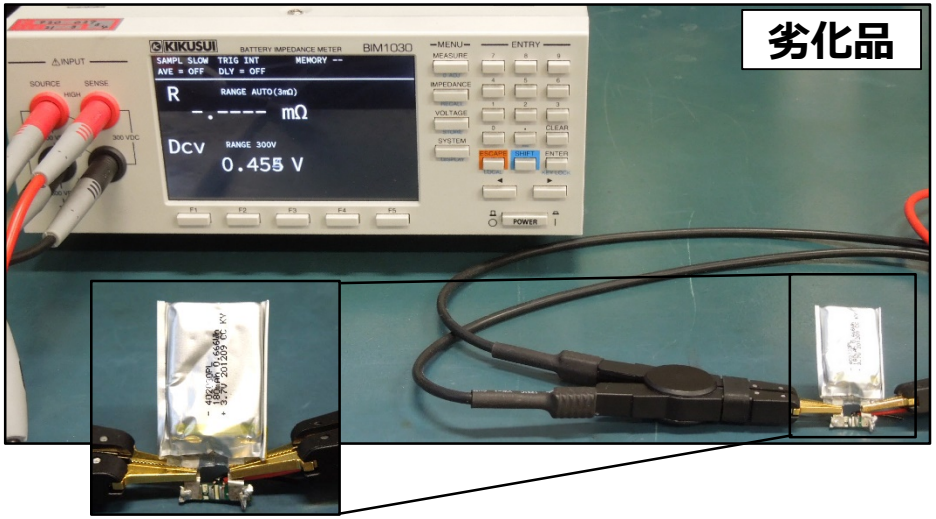
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 2.3 ②電気特性検査

**バッテリーインピーダンスメーター（BIM1030,kikusui）を使用し、
リチウムイオン電池の状態（劣化）を確認する。**

## ■ 事例 (リチウムイオン電池 ラミネート型：通常品 / 劣化品)




**・通常品**

**上段）内部抵抗値　：76.61 mΩ**
**下段）開放電圧値　：3.879 V**

**・劣化品**

**上段）内部抵抗値　：--- mΩ**
**下段）開放電圧値　：0.456 V**

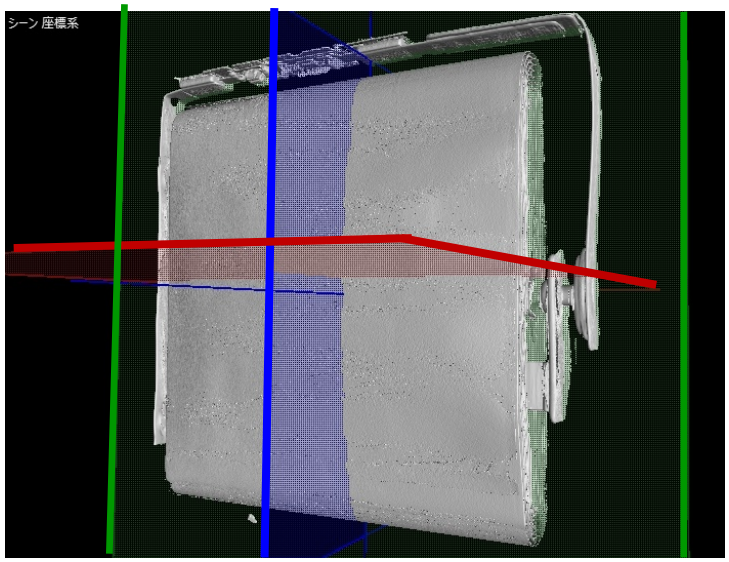
※　一般の仕様＝内部抵抗値：100mΩ以下、　開放電圧値：4.20~2.75V

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

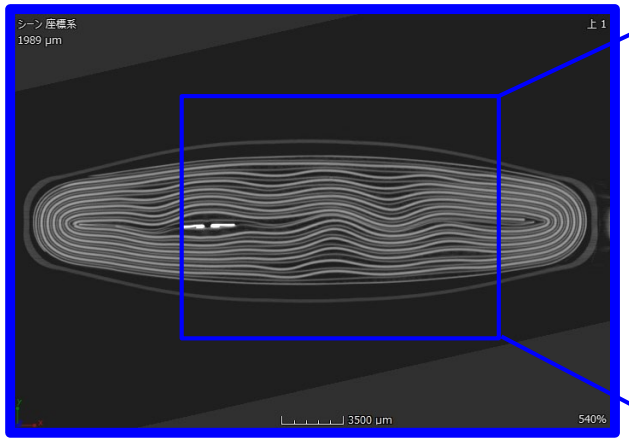
# 2.4 ③X線CT検査

**X線CT検査装置による内部観察**
**X線CT検査装置（inspeXio SMX-225CT FPD HR、島津製作所）を使用し、非破壊にて内部状態（電池パックの内部構造、制御基板の損傷有無）を観察する。**

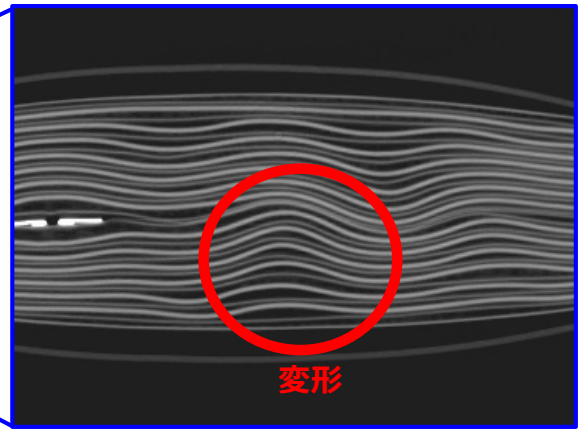
## ■ 事例（電池パック：膨張品）

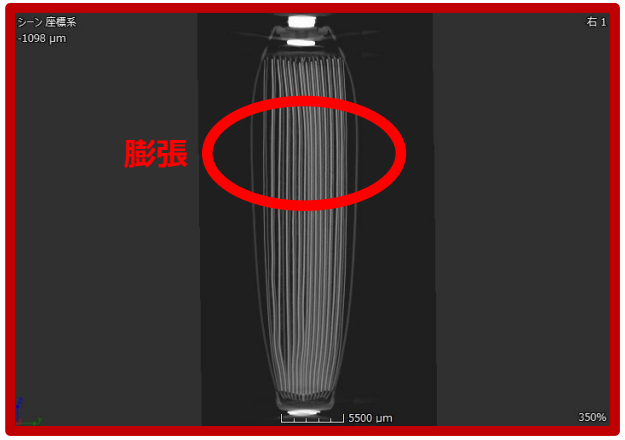


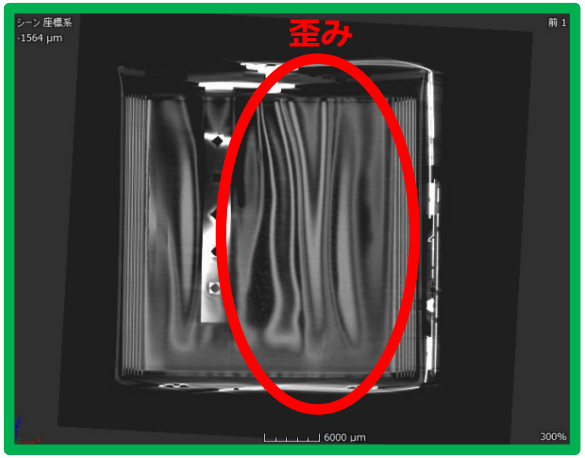

**3D画像**
**各色の断層像を右図に示す**
**（青色、赤色、緑色）**




拡大像



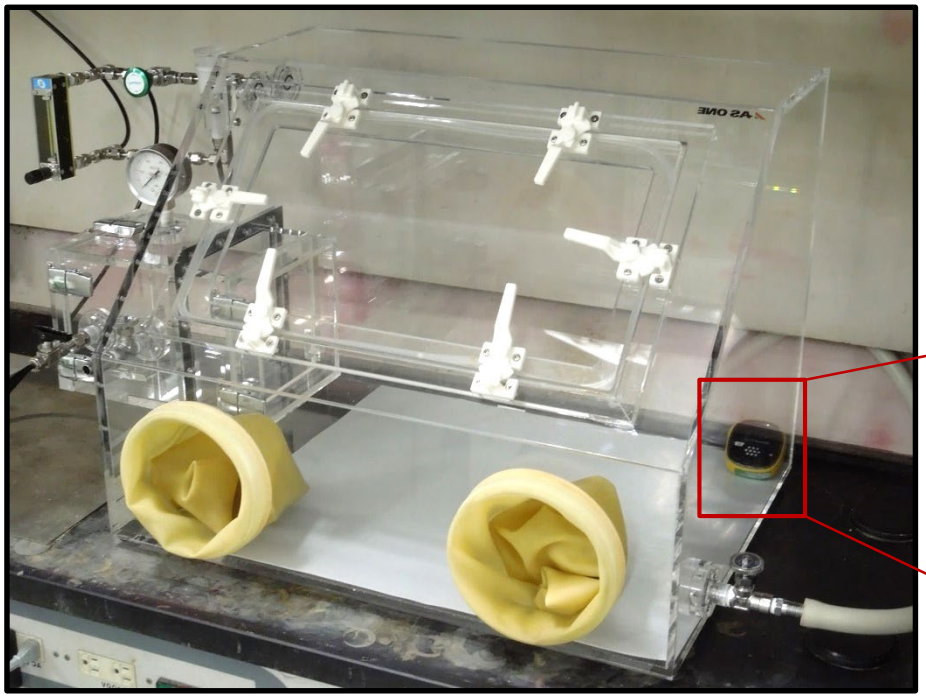




© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 2.5 ④分解検査（1/2）

**分解検査による内部観察**

- グローボックスを使用。
- グローボックスは、不活性ガス（窒素、アルゴン）のパージが可能。
- 酸素濃度計を使用し、パージの状態を確認。



ドラフトに設置したグローブボックス

酸素濃度計

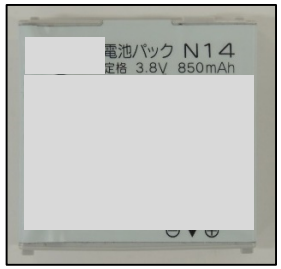
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 2.5 ④分解検査（2/2）

## 分解検査による内部観察

■ 事例〔膨張した電池パック（携帯電話用）の分解手順：①～④〕

① 分解前



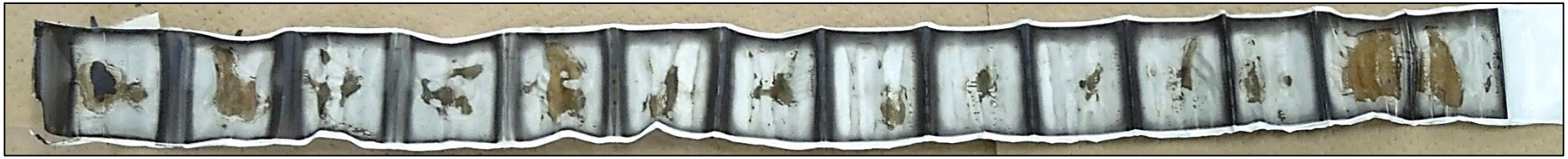

② 外装（樹脂）除去後

③ 内部電極露出

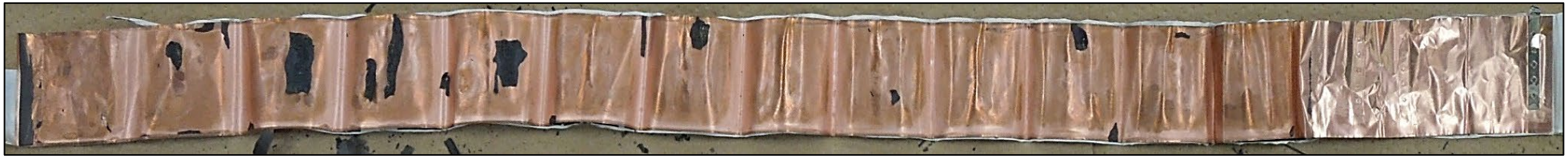
④ 展開

・ 正極（アルミ箔＋コバルト酸リチウムなどの活物質）

・ 正極側セパレータ（有機フィルム）



・ 負極（銅箔＋黒鉛などの活物質）



© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 目次

1. はじめに
1.1 リチウムイオン電池の概要
1.2 リチウムイオン電池の普及
1.3 リチウムイオン電池及び搭載製品の問題点

2. 解析手法
2.1 解析手法の一覧
2.2 ①外観検査
2.3 ②電気特性検査
2.4 ③X線CT検査
2.5 ④分解検査

3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例
3.1 ①外観検査
3.2 ③X線CT検査
3.3 ④分解検査
3.4 分析結果まとめ

4. まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

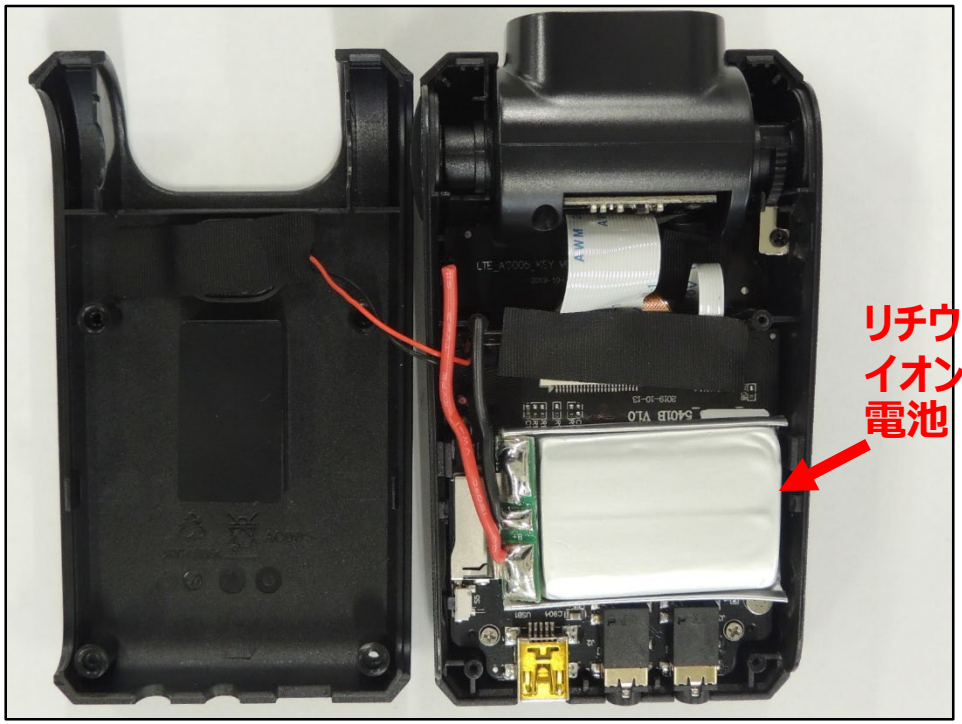
# 3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例

ドライブレコーダーを例に、要因の異なる焼損品の解析事例を紹介する。

- ◆ ケース１ ：リチウムイオン電池の故障
- ◆ ケース２ ：保護基板の故障

## ■ 事例に使用したサンプル（ドライブレコーダー：手のひらサイズ）

サンプル外観像
(左側：液晶面側 / 右側：裏面側)




サンプル内部

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 3.1 ①外観検査

・外観検査の結果、ケース１，２ともに裏面側の外装ケースに溶融した痕跡が観察された。
・落下など外部応力による痕跡（打痕など）は観察されず、外観上は双方に顕著な差は見られない。

| | 液晶面側 | | 裏面側 | |
|---|---|---|---|---|
| | 発生前 | 発生後 | 発生前 | 発生後 |
| 【ケース１】 | | | | |
| 【ケース２】 | | | | |

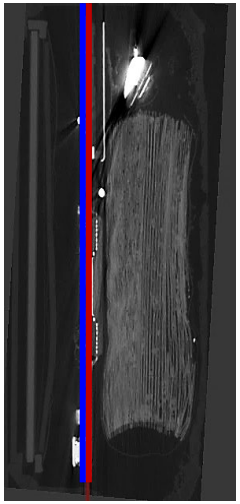
外観上で顕著な差異なし

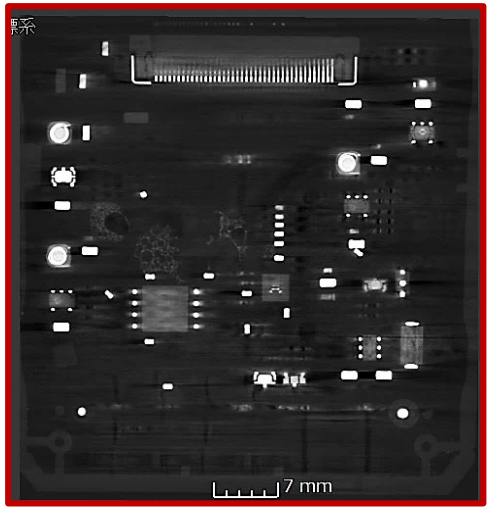
# 3.2 ③X線CT検査（1/3）

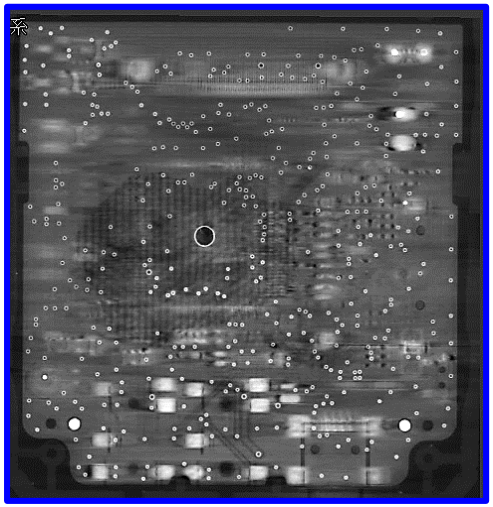
・ケース１，２ともに、X線CT検査の結果、メイン基板に欠損などの陰影は観察されなかった。

メイン基板（表）　メイン基板（裏）

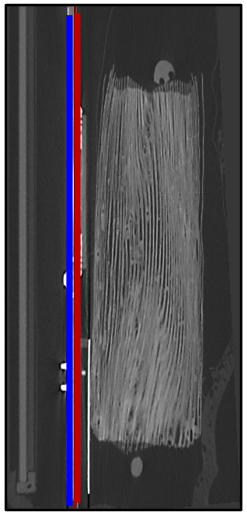
【ケース１】

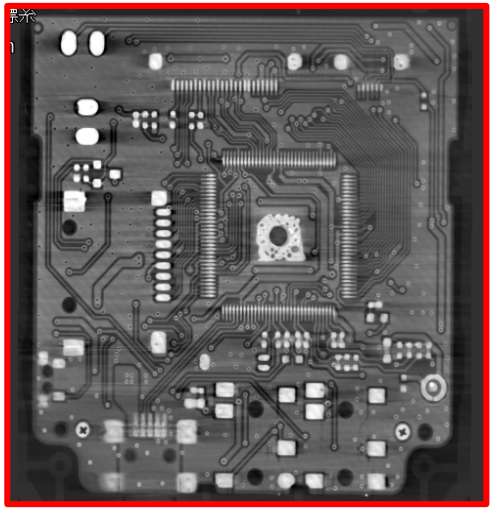


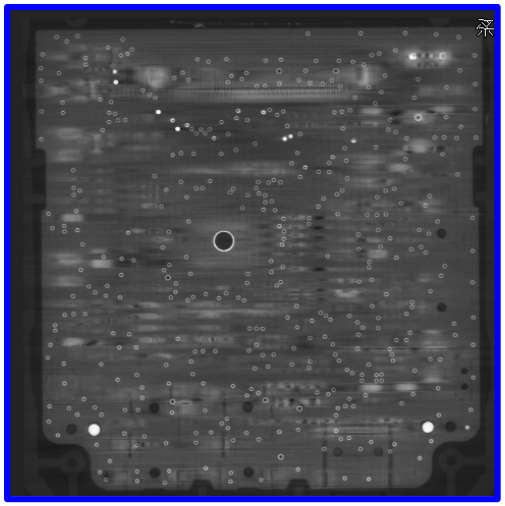


【ケース２】







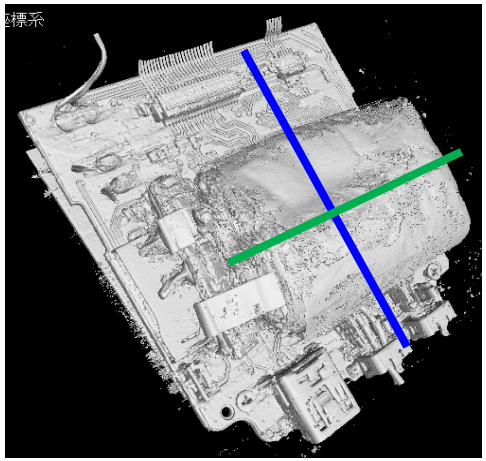
メイン基板に
欠損などの
陰影なし

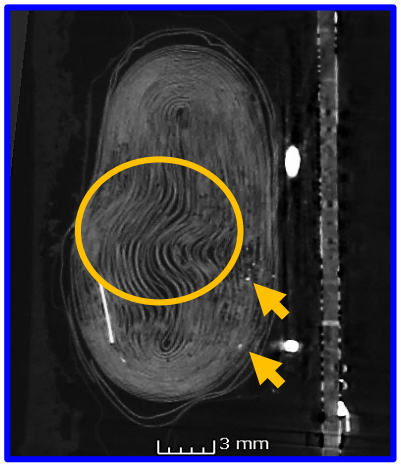
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

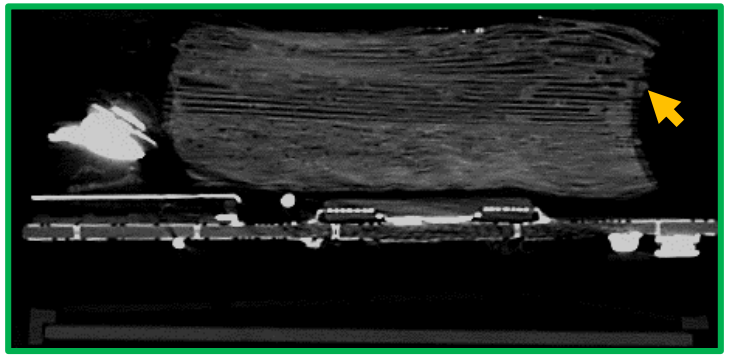
# 3.2 ③X線CT検査（2/3）

・ケース１，２ともにリチウムイオン電池の内部電極が変形した陰影（黄丸枠）が観察されると共に、熱で溶融した金属の粒（黄矢印）が観察された。
・ケース２では保護基板の欠落（赤丸枠）が観察された。

【ケース１】

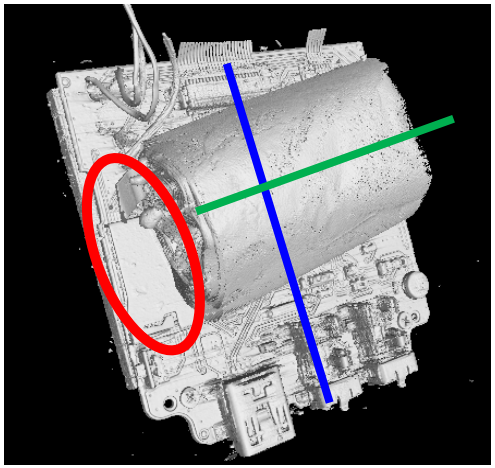


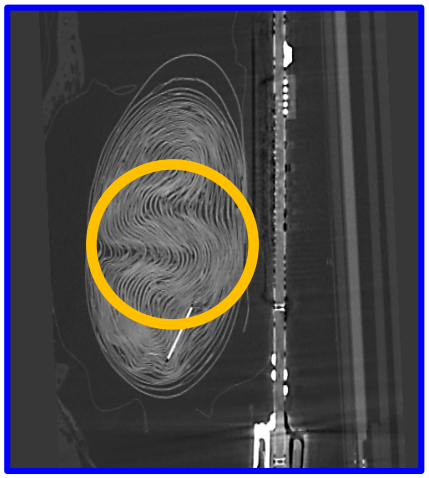


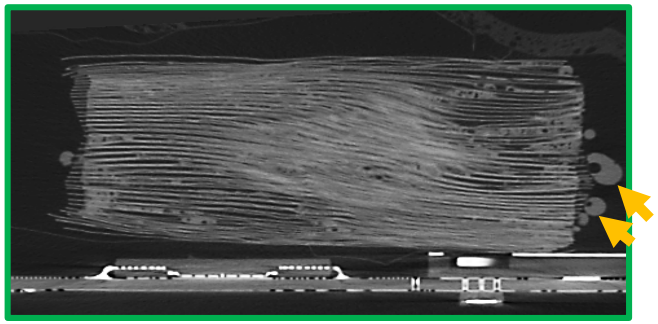



【ケース２】

保護基板の欠落





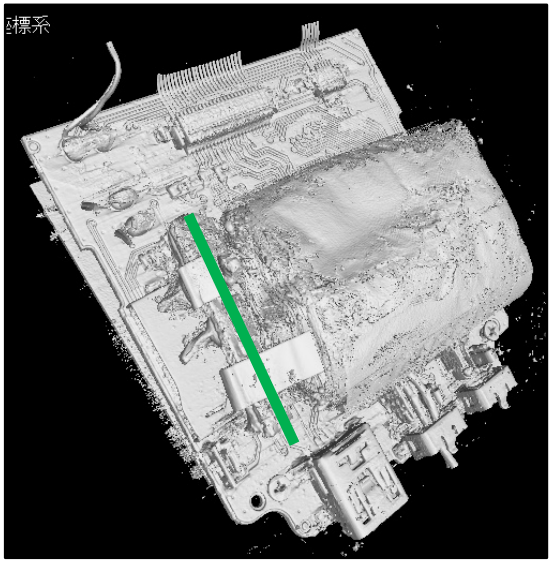


© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

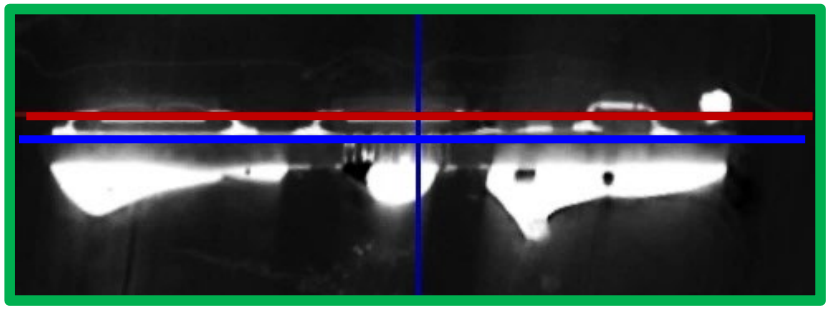
# 3.2 ③X線CT検査（3/3）

・ケース１の保護基板を観察したところ、欠損などの陰影は観察されなかった。

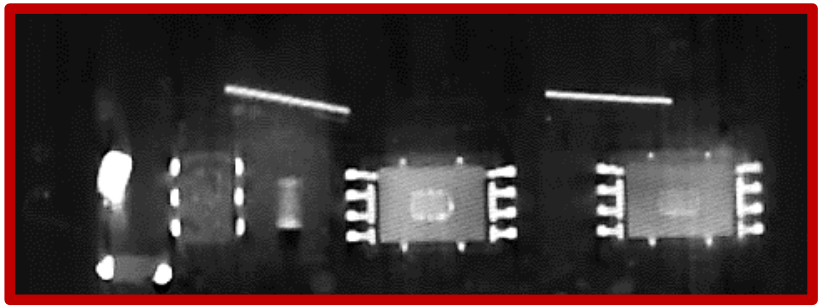
【ケース１】



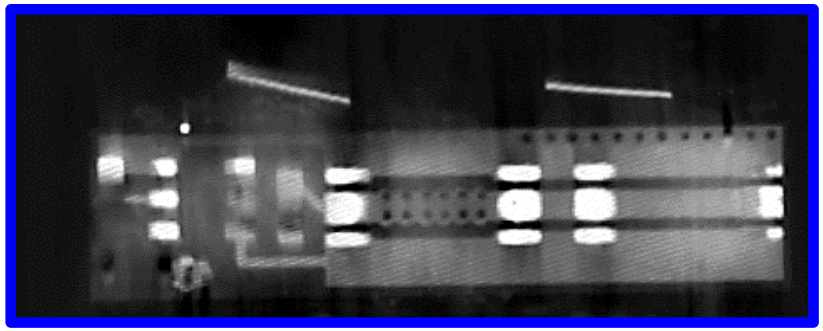

3D拡大像



・ 保護基板（表）



・ 保護基板（裏）

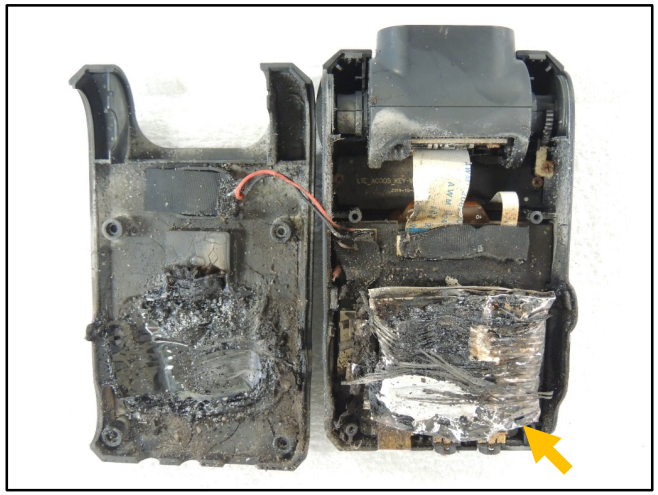


© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

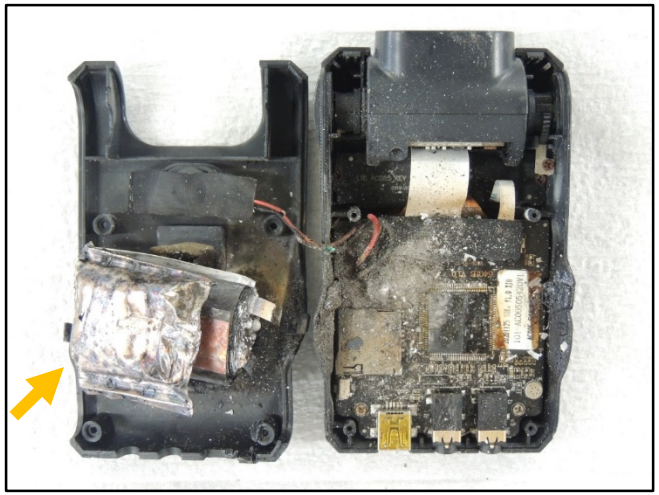
# 3.3 ④分解検査（1/7）　-外装ケースの開封-

・ケース１，２ともにリチウムイオン電池に焼損の痕跡（黄色矢印）が観察された。

【ケース１】



【ケース２】



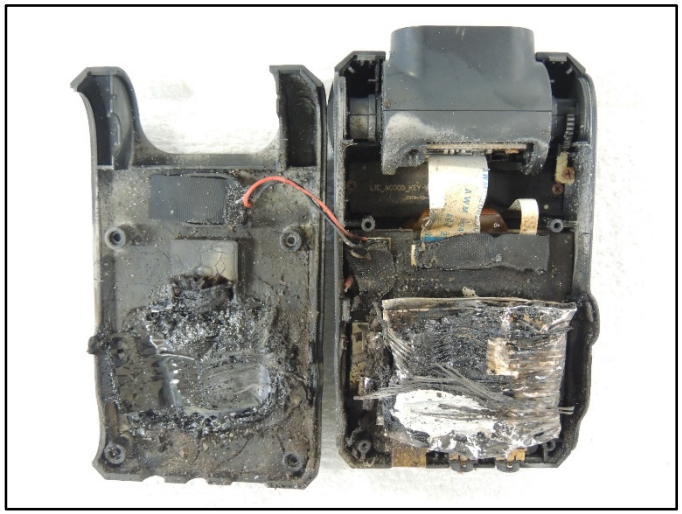
リチウムイオン
電池の発熱による
痕跡と推測される

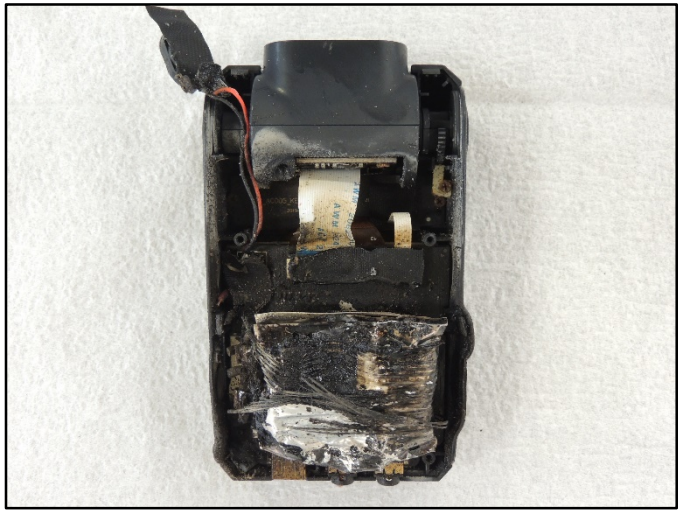
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

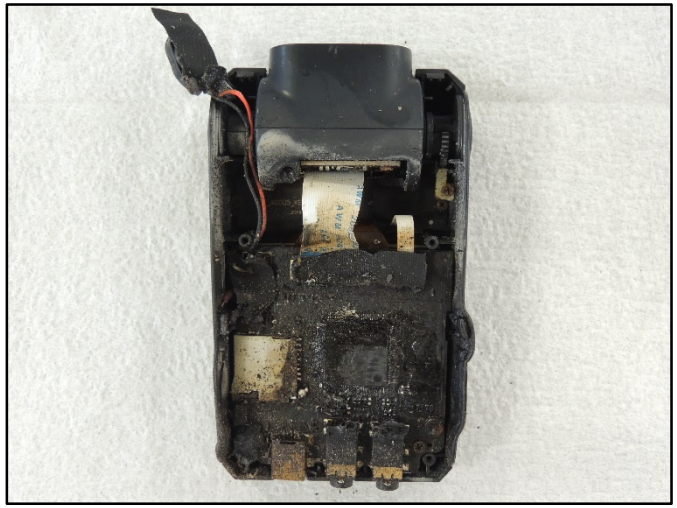
# 3.3 ④分解検査（2/7）　-リチウムイオン電池の取り外し-

・ケース１は、リチウムイオン電池を取り外すとメイン基板表面に、焼損の痕跡が観察された。

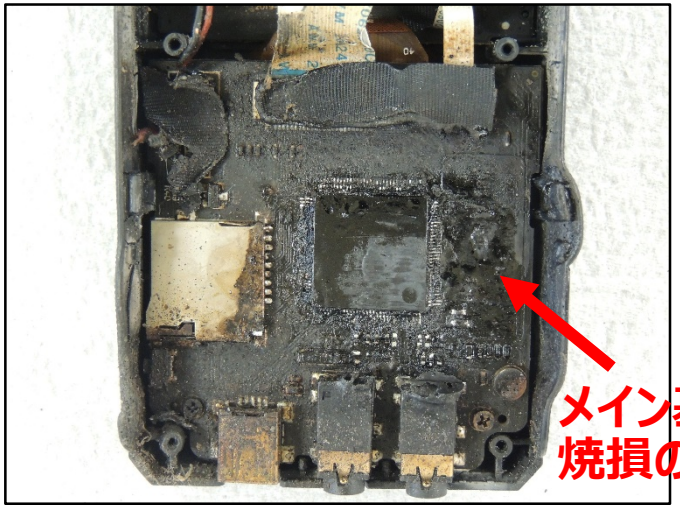
【ケース１】







リチウムイオン
電池の取り外し



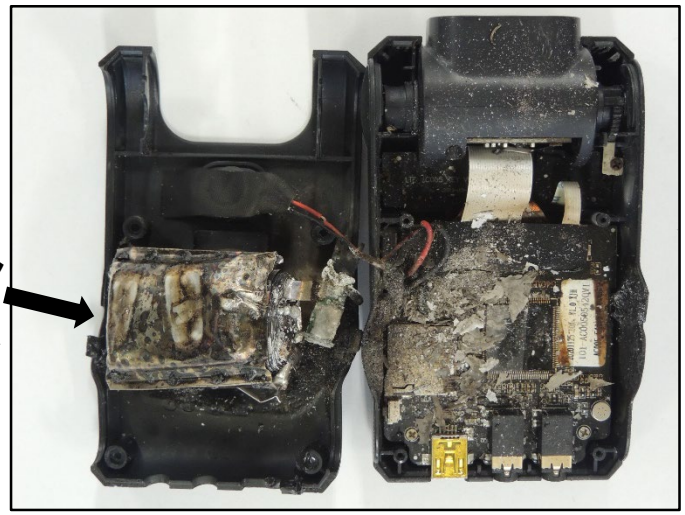

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

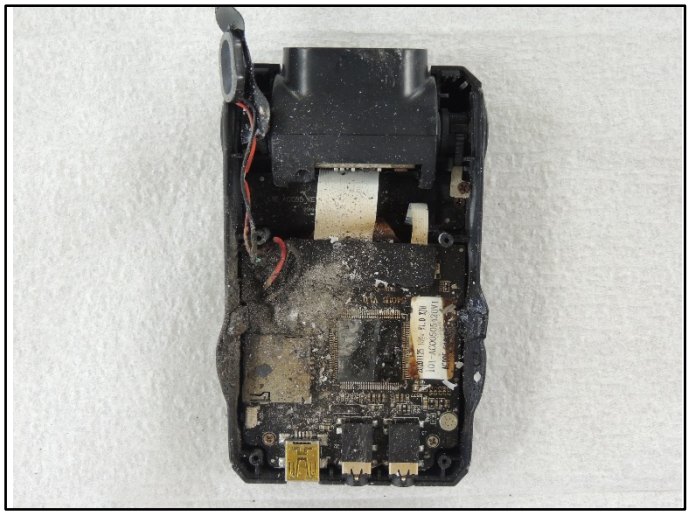
# 3.3 ④分解検査（3/7）　-リチウムイオン電池の取り外し-

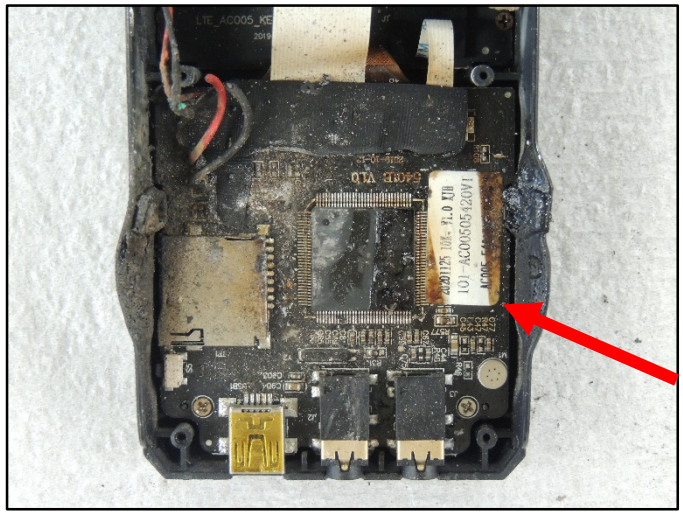
・ケース２も、リチウムイオン電池を取り外すとメイン基板表面に、焼損の痕跡が観察された。

【ケース２】

リチウムイオン電池がケースに付着







メイン基板表面に焼損の痕跡あり

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 3.3 ④分解検査（4/7）　-内部電極の取り外し-

・ケース１，２ともにリチウムイオン電池の内部電極に焼損の痕跡が観察された。
・ケース2のみ、保護基板の欠損が観察された。

【ケース１】

分解

アルミパック

保護基板＋内部電極

内部電極は
焼損の痕跡あり

【ケース２】

分解

アルミパック

内部電極

保護基板
欠損

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 3.3 ④分解検査（5/7）　-陽極・セパレータの確認-

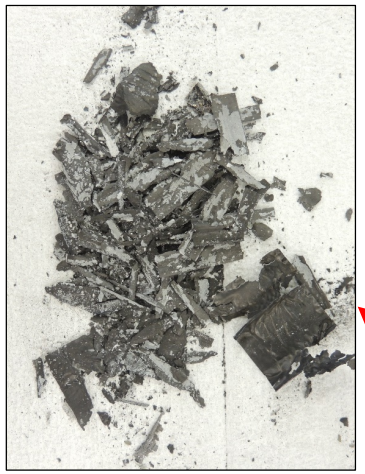
・ケース１、２ともに内部電極の陽極およびセパレータは、焼損により形状を保っていなかった。

【ケース１】

保護基板＋内部電極

裏側

展開



陽極＋セパレータ

炭化して
ボロボロ
の状態

【ケース２】

内部電極

裏側

展開

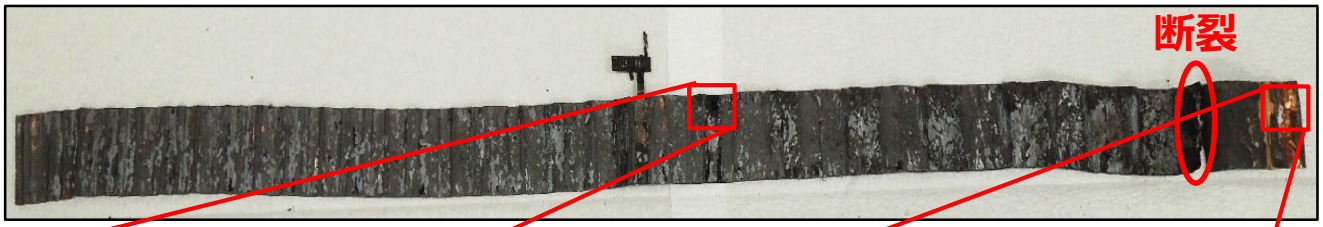
陽極＋セパレータ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 3.3 ④分解検査（6/7） -陰極の確認-

・ケース１では陰極に一部の断裂と複数箇所でのショート（内部短絡）が発生した様な痕跡あり。
・ケース２でも陰極に複数箇所でショート（内部短絡）が発生した様な痕跡が観察された。

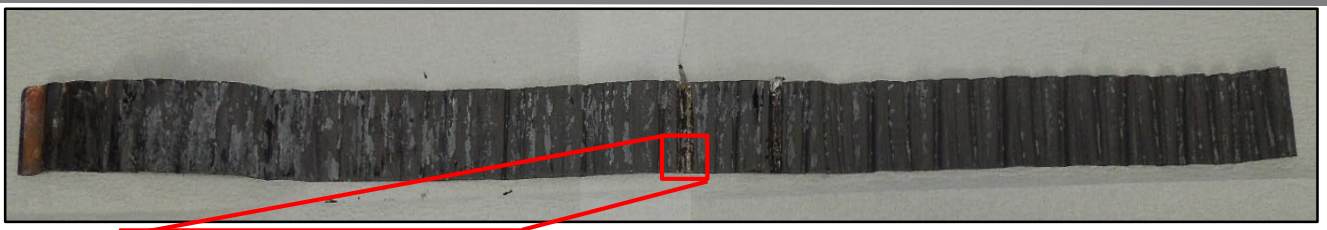
【ケース１】



内部短絡痕

内部短絡痕

【ケース２】



内部短絡痕

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

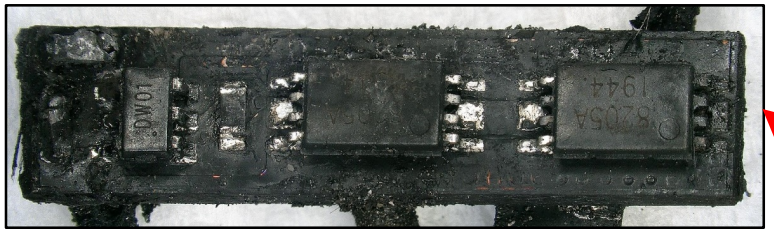
# 3.3 ④分解検査（7/7）　-保護基板の確認-

・ケース１では、焼損により全体が炭化していた。
・ケース２では、白色の付着物（金属の腐食生成物などを推定）が観察され、部分的に炭化していた。トラッキングによるショートが発生したと考えられる。

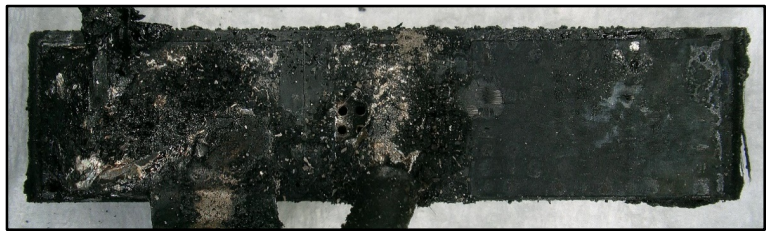
【ケース１】

保護基板

表面



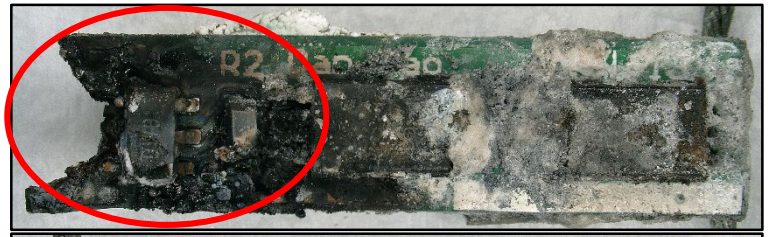
裏面



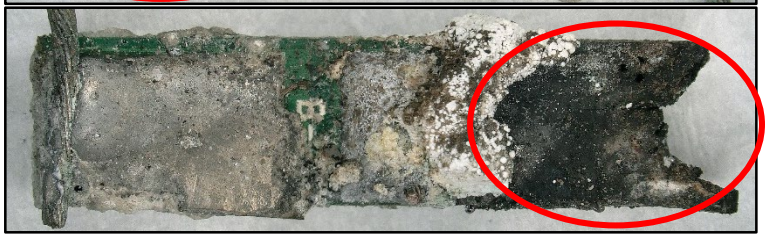
全体が炭化

【ケース２】

表面



裏面



部分的に炭化
(赤丸枠)

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 3.4 分析結果まとめ

ケース１：解析の結果、メイン基板や保護基板に焼損の起点となる異常は確認されなかった。
しかし、リチウムイオン電池の内部電極にショートが発生した痕跡が観察された。
従って、焼損の発生は、リチウムイオン電池単体の故障（過充電などによる内部短絡）が起点となって、焼損が発生したと考えられる。

ケース２：解析の結果、メイン基板に焼損の起点となる異常は確認されなかった。
しかし、リチウムイオン電池の内部電極と保護基板にショートが発生した痕跡が観察された。
また、保護基板に金属の腐食生成物と考えられる、白色の付着物が観察された。
従って、焼損の発生は、保護基板でトラッキングなどによるショートが発生し、ショートによる輻射熱の影響又は、保護基板破損による過充電により、リチウムイオン電池のショート（内部短絡）が発生し、焼損に至ったと考えられる。

| 検査項目 | | | ケース１ | ケース２ |
|---|---|---|---|---|
| ①外観検査 | | | 裏面側の外装ケースに溶融痕が観察され、打痕などは観察されなかった | 同左 |
| ③X線CT検査 | リチウムイオン電池 | | 内部電極が変形し、溶融した金属の粒が観察された | 同左 |
| | メイン基板 | | 欠損などの異常は観察されなかった | 同左 |
| | 保護基板 | | 欠損などの異常は観察されなかった | 欠損が観察された |
| ④分解検査 | リチウムイオン電池 | 陽極 | 焼損し、観察不可能であった | 同左 |
| | | セパレータ | | |
| | | 陰極 | 形状が残っていた。<br>ショート痕（内部短絡）が複数箇所で確認された | 形状が残っていた。<br>ショート痕（内部短絡）が複数箇所で確認された |
| | メイン基板 | | 基板表面に焼損の痕跡が観察された | 同左 |
| | 保護基板 | | 全体が炭化していた | 部分的な炭化（短絡痕）、<br>白色の付着物（腐食生成物）が観察された |

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 目次

1. はじめに
1.1 リチウムイオン電池の概要
1.2 リチウムイオン電池の普及
1.3 リチウムイオン電池及び搭載製品の問題点

2. 解析手法
2.1 解析手法の一覧
2.2 ①外観検査
2.3 ②電気特性検査
2.4 ③X線CT検査
2.5 ④分解検査

3. ドライブレコーダーの焼損品解析事例
3.1 ①外観検査
3.2 ③X線CT検査
3.3 ④分解検査
3.4 分析結果まとめ

4. まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 4. まとめ

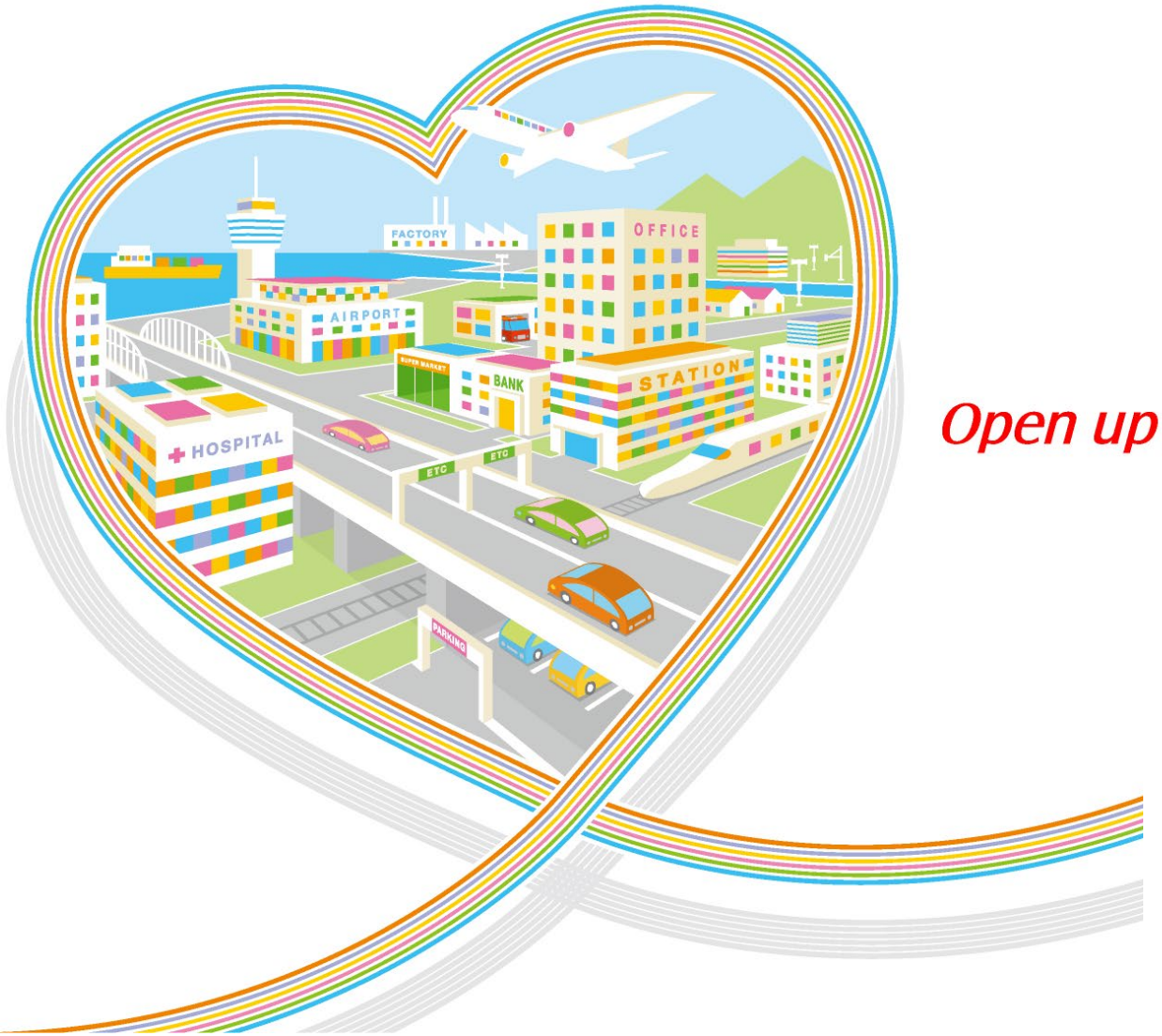
- モバイル機器に搭載されたリチウムイオン電池の解析および評価について、リチウムイオン電池の特徴やその問題点を踏まえてご紹介いたしました。

- 近年、ご要望が増加しているリチウムイオン電池の故障解析は、事故が発生した製品全体（リチウムイオン電池、基板、実装部品）からの実施が可能です。

- OKIエンジニアリングでは、事例にて紹介した故障解析手法（非破壊検査、破壊検査）に経験や知見を組み合わせることにより、発生した焼損原因の究明、さまざまな評価を行い、お客様への解析サービスを提供いたします。

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

# 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　：小岩　賢太郎
TEL　：03-5920-2366
E-mail：oeg-solution@oki.com
URL　：https://www.oeg.co.jp/

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.