

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04941

研究課題名（和文）リチウムイオン電池の熱暴走における電極材料の熱分解反応の実環境下解析

研究課題名（英文）In-situ analysis of thermal decomposition of electrode materials during thermal runaway of lithium-ion batteries

研究代表者

齋藤 喜康 (Saito, Yoshiyasu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員

研究者番号：10357064

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：透過性の高い放射光施設（SPring-8）のX線回折装置を使用し、電池をそのまま試料として昇温しながら非破壊で内部の構成材料の結晶構造を評価することができるシステムを構築した。このシステムを用いてリチウムイオン電池の測定を実施した結果、温度上昇に伴い、負極でリチウム放出、正極で活物質の熱分解が生じることが分かった。また、各反応の温度域を明らかにし、発熱量やガス発生量、電池の電圧変化との関連について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リチウムイオン電池の構成材料の熱暴走反応の解明のために、従来は電池を解体して正極や負極を抽出し、材料ごとに評価が行われていたが、解体時の試料の変質や、正極と負極の相互作用について評価できないという課題があった。本研究では、電池を解体せずにそのまま試料として用いる評価法を確立し、この問題を解決した。本手法を活用し、更に熱測定や発生ガス分析等と組み合わせることで総合的な評価を行うことで、高温の電池内で生じる種々の反応のメカニズムが明らかになる。更には、電池の寿命や安全性の予測が可能になるとともに、長寿命化や高安全化のために方策検討にも貢献できる。

研究成果の概要（英文）：We developed a heating system for x-ray diffraction measurement using high energy x-ray with high transparency in a synchrotron radiation facility, SPring-8, by which crystal structure of electrode materials included in lithium-ion batteries can be characterized without destruction. In the system, open circuit voltage of the sample batteries and inner pressure of the sample holder which was related to gas quantity were also could be measured simultaneously. By using this system, we clarified temperature region where lithium de-intercalation reaction occurred at the graphite anode in a real battery which was related to capacity degradation during storage. In addition, crystal structure change of thermal decomposition reaction of the nickel-based oxide cathode material was ascertained at elevated temperature which was related to thermal runaway of the battery.

研究分野：電気化学

キーワード：リチウムイオン電池 熱暴走 非破壊分析 X線回折測定

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

リチウムイオン電池 (LIB) はモバイル機器用として広く普及しており、電気自動車用の電源としても使用され始めている。しかし安全性に課題があり、発火等の事故 (熱暴走) の発生件数も年々増加している。熱暴走を防止するためには、電池の温度が上昇した時に電池内で生じる種々の発熱反応のメカニズムを理解し、それを抑制する技術を開発することが重要である。我々はこれまで、有機電解液を用いた一般的な仕様の円筒型 LIB について、熱測定によって昇温した時の発熱挙動を評価してきた。また、これらの自己発熱の反応の帰属を行うために、所定の温度に加熱処理した LIB を解体し、回収した電極を試料として粉末 X 線回折測定 (XRD) や硬 X 線光電子分光分析 (HX-PES) を実施し、温度上昇に伴う電極活物質の結晶構造変化や電極表面被膜の電子状態変化を調べてきた[1]。しかし 160°C 以上に加熱した LIB においては電極とセパレータが強く融着してしまうため、測定に用いることのできる状態で電極試料を回収することが困難であった。一般に LIB の熱暴走を引き起こす主反応は正極活物質の熱分解とされているが、この反応が起きるのは 160°C 以上であり、より高温まで加熱した試料の評価が不可欠である。正極活物質の結晶構造の変化に関し、昇温しながら XRD 測定を実施して解析された例は多いが、電池を解体して回収した正極を乾燥させた試料を用いており、電解液共存下で同様の測定を実施したという報告はほとんど見られず、電池内で同様の変化が起きているとは断言できない。示差走査熱量測定 (DSC) 等の熱分析において、電解液が共存すると正極活物質の熱分解反応の開始温度が低温にシフトすることも知られているが、このメカニズムについては殆ど議論されておらず、現象を正しく理解するためには、電解液が共存する、実際の LIB の内部の状況と近い条件での XRD 測定が望まれる。また、LIB を解体して回収した活物質の分析においては、解体時に試料が変質してしまう可能性もあるため、LIB をそのまま試料に用いて非破壊で内部の電極活物質の評価が実施できる技術の開発が期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、高エネルギーで透過性の強い放射光施設の X 線をプローブとすることで、LIB をそのまま試料として、加熱しながら XRD 測定を実施し、それらの結果をもとに、高温で保存した時の劣化、および熱暴走が発生する過程において、電池内で起きている電極活物質の結晶構造変化を精密に評価することを目的とする。更に、熱測定の結果と照合しながら、発熱挙動と結晶構造変化の明確な関連付けを行い、LIB の保存劣化および熱暴走反応のメカニズムを解明することを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 試料電池

直径 18 mm、長さ 65 mm の円筒型 LIB、および 7 cm 角のラミネート形 LIB の 2 種類の電池を試料として用いた。前者はセパレータのシャットダウンが発生する 140°C 以下の温度域における発熱の評価に使用し、後者は 270°C まで昇温して熱暴走の反応過程全体の発熱の評価に使用した。どちらの電池においても、電解液には炭酸エステル系の混合溶媒に  $\text{LiPF}_6$  を溶解させたものを用いた。

円筒型 LIB においては、正極活物質および負極活物質にはそれぞれ  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$  (以下、NMC) と黒鉛を使用した。なお、負極は充電するとリチウムを吸蔵するため、本研究では以後リチウム吸蔵黒鉛 (Lithium intercalated Graphite : LIG) と表記する。活物質は導電剤のカーボン、および結着剤のポリビニリデンフルオライド (PVDF) と混練してペーストを調製し、正極についてはアルミ箔 (厚さ 15  $\mu\text{m}$ )、負極については銅箔 (厚さ 10  $\mu\text{m}$ ) の両面に塗布して電極シートを形成した。正極シートと負極シートの間には多孔質のポリオレフィン系セパレータ (ポリエチレン-ポリプロピレン-ポリエチレンの三層構造) を挟み、円筒型 LIB においては捲回してステンレス製円筒容器 (負極) に充填後、電解液を注液して蓋 (正極) を取り付け、密封して完成させた。なお、容量は作成時期によって約 1000 mAh と約 1200 mAh の仕様のものがあり、X 線 CT で確認したところ、前者では電極層の捲回数が 13 周、後者では 15 周となっていた。

ラミネート型セルでは、正極活物質に  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$  (以下、NMC622)、負極活物質には黒鉛を用い、円筒型電池と同様の手法で調整したペーストを集電体に片面塗工して電極シートを形成した。セパレータには、シャットダウン発生時に正極と負極が接触して内部短絡が生じるのを抑制することを期待して、アラミド塗布不織布 (厚さ 20  $\mu\text{m}$ ) を用いた。また、正極、負極とも表面に、短絡抑制を意図して厚さ 20  $\mu\text{m}$  の酸化物系耐熱コーティング層を塗布した。電極サイズは正極が 2.55 cm × 4.1 cm、負極が 2.7 cm × 4.2 cm、容量は約 32 mAh であった。

円筒型 LIB、ラミネート型 LIB のどちらにおいても、容量を C とした場合、充電は C/20 mA 定電流-4.2 V 定電圧方式とし、カットオフ電流を C/200 mA とした。一方、放電は C/20 mA 定電流方式とし、カットオフ電圧を 2.7 V とした。なお、充放電は 25°C に等温保持した恒温槽の中で実施した。円筒型 LIB の充放電には東洋システム製 TOSCAT-3200、ラミネート型 LIB の充放電には Solartron 製 Cell Test 1400 を用いた。

一般に、LIB の寿命や安全性は、充電状態 (SOC) が高いほど低下する傾向があり、本研究では主に SOC を 100% に調整した満充電状態の電池を試料に用いた。

## (2) 熱測定

熱測定には SETARAM 製の双子型伝導熱量計 C80-22 を用いた。耐圧 10 MPa のステンレス製試料ホルダーを試作し、円筒型 LIB はそのまま、ラミネート型 LIB は円筒形に捲回して充填し、密閉した。試料は最初 30°C に等温保持した後、円筒型 LIB は 140°C まで、ラミネート型 LIB は 300°C まで、所定の速度で昇温し、その際に発生する発熱を計測した。なお、ラミネート型 LIB の測定の際にはホルダーにひずみゲージ式圧力センサを取り付けてホルダーの内圧を計測し、発生するガス量の推察を行った。なお、昇温走査は同一試料に対して 2 回行い、差をとることで 1 回目の昇温時に生じる不可逆反応による発熱を抽出した。

## (3) XRD 測定

XRD 測定は大型放射光施設 SPring-8 にて実施した。装置は BL46XU の標準の多軸 X 線回折計 (Huber 社製) を用い、Si(111)液体窒素冷却型二結晶モノクロメータの三次光 (72 keV) を試料電池に照射し、回折光を 0 次元検出器 (LaBr<sub>3</sub> シンチレーションカウンター) で計測した。入射光のサイズはスリットを使用して高さ 0.03 mm、幅 0.5 mm とした。また、ダイレクトビームストッパを使用し、低角域のバックグラウンドの低減を図った。なお、2022 年度はビームライン再編により当該装置は BL13XU に移設され、測定も BL13XU で実施した。

昇温測定用のシステムは、円筒型 LIB の温度制御が可能なホルダーを試作してビームラインに持ち込んで使用した。円筒型 LIB の測定において、試料電池は水平に寝かせた状態でホルダーに固定し、側面に垂直に X 線が入射するように配置した。ホルダーは鉛直軸 ( $z_s$  軸) 方向に走査することで、試料電池の外周から中心に至る半径方向の任意の位置の測定を可能とした。

ラミネート型 LIB の測定の際は、外径 18 mm、肉厚 1 mm のステンレス製耐圧円筒容器に密封して、同じ温度制御用ホルダーに固定して測定した。密封作業はアルゴン雰囲気グローブボックスで行った。なお、ステンレス製耐圧円筒容器には熱測定用のホルダーと同様にひずみゲージ式圧力センサを取り付けた他、熱電対や被覆電線を接続することで、容器内の試料電池の表面温度や開回路電圧 (OCV) の同時計測も可能とした。

## 4. 研究成果

### (1) 放射光 XRD 測定用温度制御システムの開発

使用した多軸 X 線回折計には、円筒型 LIB を試料とした時に精度よく温度を制御できるような温調システムは備えられておらず、独自の試料ホルダーと温調システムの開発が必要であった。試料は、測定位置を制御するためのステージに固定する必要があるが、試料を加熱する際にステージの温度まで上がってしまうと、熱膨張により測定位置がずれたり、潤滑油が揮発して位置走査が円滑にできなくなったりする恐れがあった。そのため、試料はなるべくステージから離れた位置に固定することが望ましいが、装置のクリアランスが狭いことと、走査可能な高さ位置の制約から、25 mm 程度が限界であった。このような制約の中で、ホルダーの熱設計を行い、300°C 程度まで使用可能な温度制御システムを構築した。このシステムを用い、電解液を注液していない (熱暴走することのない) ダミーの円筒型電池を試料として、段階的に昇温することで、十分な性能を示すことが確認された。表 1 に、所定の温度に 30 min ほど保持した時の、ダミー電池側面の表面とステージの温度を示す。このように、試料の表面温度を設定温度に対して 0.5°C 以内の精度で制御でき、なおかつステージの温度は 35°C 以下に抑えられるシステムが実現することができた。

表 1 ステップ昇温時のホルダー表面と試料ステージの温度.

設定温度 (°C)	50	100	150	200	250
ホルダー表面温度 (°C)	50.1	99.9	149.8	199.7	249.6
試料ステージ温度 (°C)	27.8	29.2	30.6	32.1	33.7

### (2) 円筒型リチウムイオン電池の昇温 XRD 測定による高温保存劣化反応の評価

最初に室温で測定を行い、円筒型 LIB の内部の主要な構成材料 (正極活物質: NMC、負極活物質: LIG、正極集電体: Al、負極集電体: Cu) の回折パターンを、焦点を絞って場所ごとに非破壊で測定できることが確認できた。検出する回折角  $2\theta$  を各材料の固有の回折角に固定し、 $z_s$  軸を走査しながら測定を行った結果の例を図 1 に示す。Al のプロファイルで最も左側に見られる大きなピークは外装缶に帰属されるもので、試料の最外周部 (外装缶の表面) の位置は  $z_s = 0.6$  mm の付近であり、電極は  $z_s = 3 \sim 8$  mm の位置に存在していると判断された。NMC と LIG では 2 つのピークで 1 つの大きな山を形成しており、正極の山と負極の山は交互に出現した。また、Al や Cu のピークはそれぞれ NMC や LIG の 1 対のピークの間で観察された。これらのプロファイルは、集電体の両面に電極層が塗布されていること、正極シートと負極シートが積層して捲回されていること等を反映しており、高強度の放射光 X 線を用いることで非破壊で電池内の構造

や各層の位置を確認することができることが示された。各材料のピークが見られる位置に  $z_s$  を固定し、回折角を走査した場合は、その位置に存在する材料に基づく XRD パターンが得られることも確認できた。

昇温測定では、段階的に温度を上げていくステップ昇温と、一定の速度で昇温する等速昇温の 2 種類の走査を行い、結果の比較を行った。等速昇温測定での昇温速度は  $0.1^\circ\text{C min}^{-1}$  とした。一方、ステップ昇温では、 $30^\circ\text{C}$  から  $20^\circ\text{C}$  間隔で走査し、各温度には約 3 時間 40 分保持した（平均すると  $0.1^\circ\text{C min}^{-1}$  と同等）。いずれの測定においても、外周から 2 周目、7 周目、12 周目の 3 ヶ所の正極層および負極層について順番に回折角走査を行った。温度変化に伴い電池内の電極位置が変化することが分かったため、各層の測定に先立って負極の集電体の (200) 回折線の  $z_s$  走査を行い、測定位置を補正した。これらの測定から、 $130^\circ\text{C}$  以下の温度域において、正極活物質の NMC は温度上昇とともに単調に結晶が熱膨張することが分かった。一方、負極活物質の LIG については、室温では  $\text{LiC}_6$  組成に対応する stage-1 構造に帰属されるピークが顕著に見られたのに対し、 $70^\circ\text{C}$  以上の高温では stage-1 構造のピーク強度が減少するとともに、 $\text{LiC}_{12}$  組成に対応する stage-2 構造に帰属されるピークが増大したことから、吸蔵されているリチウムが徐々に放出されていくことが明らかとなった。ステップ昇温では図 2 に示すように、中心に近い位置ほどより早く stage-2 のピークが増加する傾向が示された。熱測定においても  $70^\circ\text{C}$  以上の高温で発熱が顕著に観察されており、このステージ構造変化は発熱反応と考えられるが、電池の表面を一定の温度に保持している場合は、この発熱により内部ほど高温になると推察され、反応が加速して反応分布が形成されると結論づけられた。一方、等速昇温では、外側から 12 周めでは他より反応の進行が顕著であったものの、2 周めと 7 周めの位置では優位な差が認められなかった。12 周めの負極層には昇温前から微弱な stage-2 のピークが認められたことから、電極部位によって昇温前から充電状態に差が生じていたと考えられ、それが結果の違いに反映されていると推察された。等速昇温では外部からの熱流と内部の発熱が相殺されることで、反応分布が少なくなった可能性がある。

円筒型 LIB で使用している負極集電体の銅箔を試料とし、(002) 回折ピークの温度変化を評価したところ、室温から  $250^\circ\text{C}$  の温度範囲において格子面間隔と温度との間に線形関係が示され、その係数は Cu の線膨張係数  $\alpha$  の文献値 ( $16.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) [2] とほぼ一致した。そこで、電池内の負極集電体の回折ピークからその集電体の位置の温度が評価できると考え、ステップ昇温測定の結果に対して電池内の温度分布を推察した。その結果、電池の内部は中心に近いほど、比較的低い温度域から表面温度よりも高温となる傾向が示された。ただし中心に近い位置では  $120^\circ\text{C}$  以上には上昇しなかった。試料に用いた電池は中心付近に余剰セパレータが何重にも捲回された構造をしており、セパレータの成分であるポリエチレンは約  $120^\circ\text{C}$  で融解することが関連していると推察される。ただし電池内の集電体は充放電や温度履歴によってひずみが蓄積していると考えられるので、正確な温度の推算にはひずみの影響の考慮が必要である。

SOC 100% の円筒型 LIB を  $50^\circ\text{C}$  および  $80^\circ\text{C}$  で 4 週間保存したところ、容量はそれぞれ保存前に比べて 86.2%、70.1% に低下した。一般的に、LIB を保存した時の容量劣化は、主に負極に吸蔵されているリチウムが電解液成分と反応して SEI と呼ばれる被膜を作ることが要因と考えられている。これらの電池を試料に用いて室温で放射光 XRD 測定を行ったところ、保存温度が高いほど、負極層において、stage-2 構造に帰属される回折ピークの相対強度が強くなっており、容量劣化が負極からのリチウム放出と関連していることが確認された。

### (3) ラミネート型リチウムイオン電池の昇温 XRD 測定による熱暴走機構の評価

ラミネート型 LIB を試料とし、 $0.8^\circ\text{C min}^{-1}$  の速度で  $30^\circ\text{C}$  から  $270^\circ\text{C}$  まで等速昇温しながら、

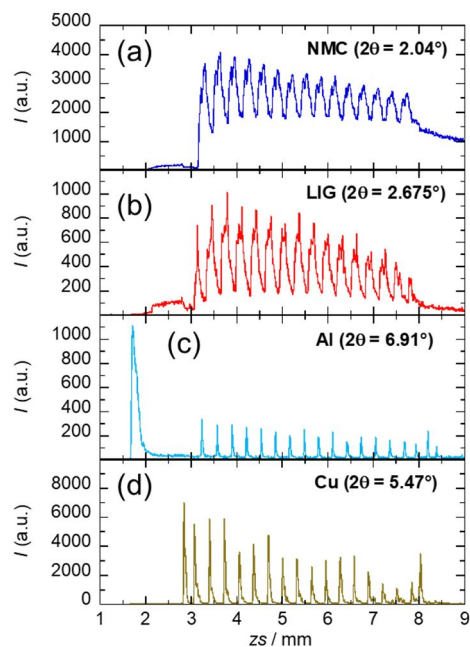


図 1 円筒型 LIB の内部の主要な構成材料における、主要な XRD 回折ピークの深さ方向プロファイル。(a) 正極活物質 NMC, (b) 負極活物質 LIG, (c) 正極集電体 Al, (d) 負極集電体 Cu。

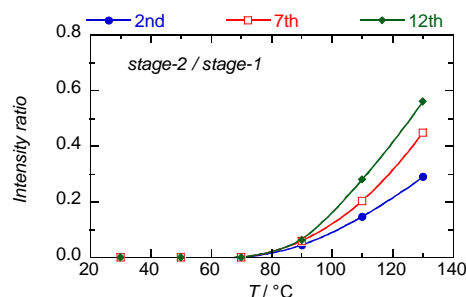


図 2 円筒型 LIB をステップ昇温した時の負極の XRD 測定における、stage-1 構造に対する stage-2 構造のピーク強度比の温度変化。外側から (●) 2 周め、(□) 7 周め、(◇) 12 周めの電極層。



角度走査を繰り返す形で XRD 測定を行い、正極活物質および負極活物質の XRD パターンの温度変化を評価することに成功した。正極活物質 NMC622 および負極活物質 LIG の主要な回折ピークの温度変化を図 3 に示す。NMC622 の (0 0 3) 回折ピークは 170°C までは温度上昇に伴い単調に低角シフトを示しているが、これは熱膨張に伴う変化と考えられる。170°C からは逆に高角シフトに転じ、更に 210°C を超えて

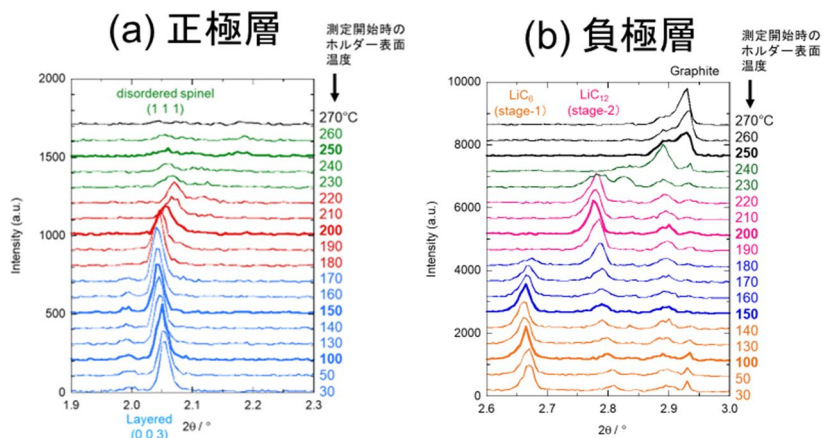


図 3 ラミネート型 LIB を等速昇温した時の XRD ピークの温度変化。(a) 正極層、(b) 負極層。

からは再び低角シフトに変化しており、正極の結晶構造が二段階で変化している様子が見受けられる。210°C 以上ではピーク強度の著しい低下も認められる他、同時に計測したホルダーの内圧 ( $p_e$ ) の上昇が加速しており、ガス放出を伴う熱分解反応が進行していることが分かった。OCV も急落して 0 V となった。NMC622 の XRD パターンにおいて、170°C からは六方晶構造から  $\text{LiM}_2\text{O}_4$  型の立方晶スピネル構造への変化、210°C からは  $\text{M}_3\text{O}_4$  型の立方晶スピネル構造への変化が生じていると推察された。XRD 測定とは別に実施した熱測定の結果 (図 4) においても急峻な発熱が 210°C から確認されており、 $\text{M}_3\text{O}_4$  型立方晶スピネル構造への変化が LIB の熱暴走と深く関与していることが明らかとなった。また、この変化が生じる温度は、NMC622 正極単独で測定された Bak らによる報告[3]より低く、電解液共存条件でない場合は実際の電池の挙動を正しく評価できないことが裏付けられた。

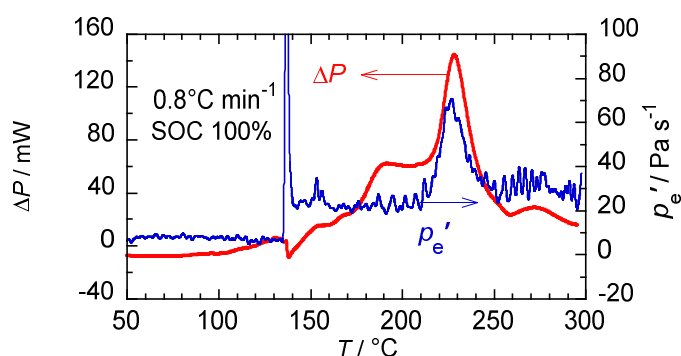


図 4 ラミネート型 LIB を等速昇温した時の発熱 ( $\Delta P$ ) とホルダー内圧変化率 ( $p_e'$ ) の温度変化。

一方、負極 LIG においては、140~200°C の幅広い温度域に渡って stage-1 から stage-2 へと構造が変化した。記述の円筒型 LIB においては、同じ反応がより低温域で観察されているが、これは反応速度が極めて遅いため、昇温速度が速くなると全体的に反応温度域が高温側にシフトすることが原因と考えられる。また、220°C 以上では stage-2 から更に変化が進み、リチウムを全て放出して黒鉛構造に変化することも分かった。

本研究では、LIB を昇温した時の電極活物質の結晶構造変化を、LIB をそのまま試料として非破壊で評価する手法を確立した。正極、負極のどちらの活物質も、昇温に伴って構造変化をすることが確認できた。しかし、これらの変化は、活物質単独ではなく電解液成分との反応によって生じていると考えられる。正確な反応機構を理解するためには、電解液の変化や、反応によって発生するガス種と量についての情報が必要であり、これらを同時に評価する手法の開発については今後の課題である。

参考文献：

- [1] 齋藤喜康 他、平成 30 年度 SPring-8 放射光施設横断産業利用課題・一般課題 (産業分野) 実施報告書、6, 130 (2018A).
- [2] 岡路正博 他、応用物理、50, 714 (1981).
- [3] S.-M. Bak, et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 12, 18512 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 齋藤喜康, 岡田賢, 柴田強, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 廣岡誠之	4. 巻 2020A
2. 論文標題 リチウムイオン電池の構成部材の結晶構造と電池内温度の非破壊同時評価の検討 4. 等速昇温走査時の円筒電池内の反応分布評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和2年度 SPring-8 一般課題(産業分野) 実施報告書 (2020A)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 齋藤喜康, 岡田賢, 柴田強, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 廣岡誠之	4. 巻 2020A
2. 論文標題 昇温X線回折測定によるリチウムイオン電池の熱暴走反応の解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和2年度 SPring-8 一般課題(産業分野) 実施報告書 (2020A)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 齋藤喜康, 小林弘典, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 宇根本篤, 小金澤智之	4. 巻 2019A
2. 論文標題 リチウムイオン電池の構成部材の結晶構造と電池内温度の非破壊同時評価の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 平成31年度SPring-8放射光施設横断産業利用課題・一般課題(産業分野) 実施報告書	6. 最初と最後の頁 65-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 齋藤喜康, 小林弘典, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 宇根本篤, 廣岡誠之, 小金澤智之	4. 巻 2019A
2. 論文標題 リチウムイオン電池の構成部材の結晶構造と電池内温度の非破壊同時評価の検討 2. 試料ホルダーの温度制御機能の改良	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 平成31年度SPring-8放射光施設横断産業利用課題・一般課題(産業分野) 実施報告書	6. 最初と最後の頁 147-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 齋藤喜康, 岡田賢, 柴田強, 小林弘典, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 宇根本篤, 廣岡誠之, 小金澤智之	4. 巻 2019B
2. 論文標題 リチウムイオン電池の構成部材の結晶構造と電池内温度の非破壊同時評価の検討 3. 円筒電池の昇温時の温度分布および反応分布の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 平成31年度SPring-8放射光施設横断産業利用課題・一般課題(産業分野)実施報告書	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 1件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yoshiyasu Saito, Ken Okada
2. 発表標題 In-Situ Heating XRD Measurement to Study Thermal Runaway of Lithium-ion Batteries
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤喜康, 岡田賢, 倉谷健太郎, 鹿野昌弘, 小林弘典, 廣岡誠之, 川治純, 奥村壮文
2. 発表標題 円筒型リチウムイオン電池の昇温時の発熱反応の非破壊解析
3. 学会等名 2021年電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田賢, 齋藤喜康, 小林弘典, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 廣岡誠之, 川治純, 奥村壮文
2. 発表標題 In-situ XRD測定による昇温時の円筒型リチウムイオン電池の発熱反応の解析
3. 学会等名 第18回SPring-8産業利用報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤喜康, 岡田賢
2. 発表標題 In-situ放射光X線回折によるリチウムイオン電池の熱暴走反応の解析
3. 学会等名 第57回熱測定討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤喜康, 岡田賢, 倉谷健太郎, 鹿野昌弘, 小林弘典, 廣岡誠之, 川治純, 奥村壮文
2. 発表標題 In-situ昇温X線回折測定によるリチウムイオン電池の熱暴走の反応機構解析
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤喜康, 岡田賢, 小林弘典, 鹿野昌弘, 倉谷健太郎, 廣岡誠之, 宇根本篤, 阿部誠, 川治純, 奥村壮文, 小金澤智之
2. 発表標題 In-situ XRD測定による昇温時のリチウムイオン電池の発熱反応の解析
3. 学会等名 第17回SPring-8産業利用報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiyasu Saito, Ken Okada, Kentaro Kuratani, Masahiro Shikano, Hironori Kobayashi, Motoyuki Hirooka, Atsushi Unemoto, Makoto Abe, Jun Kawaji, Takefumi Okumura
2. 発表標題 Non-destructive analysis of crystal structure changes of component materials in cylindrical lithium-ion batteries at elevated temperature by synchrotron radiation x-ray diffraction measurement
3. 学会等名 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science (PRIME 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 齋藤 喜康、小林 弘典、鹿野 昌弘、倉谷 健太郎、岡田 賢、廣岡誠之、宇根本篤、阿部誠、川治純、奥村壮文
2. 発表標題 円筒型リチウムイオン電池を試料とした昇温XRD測定 of 検討
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 喜康、岡田 賢、柴田 強
2. 発表標題 昇温XRD測定によるリチウムイオン電池の熱暴走機構解析
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小林 弘典 (Kobayashi Hironori)  (30357016)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・総括研究主幹  (82626)	
研究分担者	岡田 賢 (Okada Ken)  (80356683)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員  (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------