

高温環境下（100℃以下）における リチウムイオン電池の内部短絡による出火について

福岡市消防局予防部予防課調査係

1 はじめに

リチウムイオン電池は、小型で高電圧・高容量を得られるエネルギー効率の高い電池として、携帯電話、デジタルカメラ、ノートパソコン、また最近では、タブレット端末や電気自動車にも使用されており、IoT化や脱炭素化が進む現代社会において広く普及し、必要不可欠なものとなっている。

その反面、そのエネルギー密度の高さから、短絡や異常発熱に至った場合は激しい反応が生じる危険性の高い電池としても知られており、リチウムイオン電池の発火事故は近年頻繁に発生している状況にある。

リチウムイオン電池が発火に至る原因は様々であるが、今回、高温環境下におけるリチウムイオン電池の内部短絡が原因と考えられる火災が発生したため、当該原因による出火可能性および出火

に至るメカニズムについて検証し、その結果を紹介するものである。

2 火災事例

(1) 出火日時

令和3年8月某日 1時30分頃

(2) 鎮火日時

令和3年8月某日 3時35分

(3) 出火場所

福岡市内

(4) 損害状況

- ① 人的被害 なし
- ② 物的被害 建物外壁（約2㎡）及び農機具2台



【写真1 外壁の焼損状況】

【写真2 刈払機及びポールソーの配置状況】

(5) 火災概要

本火災は、木造2階建て一般住宅の外壁及び農機具2台を焼損した建物火災であり、焼損程度は「部分焼」である。

(6) 調査概要

① 現場の状況

焼損しているのは、建物北東側外壁とその下部の犬走り上に置かれたエンジン式刈払機（以下、「刈払機」という。）及びリチウムイオンバッテリー式ポールソー（以下、「ポールソー」という。）であった。

② 出火原因

現場状況及び関係者からの聴取内容から、たばこ、放火及び漏電の可能性は否定したため、刈払機及びポールソーの出火可能性について考察した。

ア 刈払機について

関係者の供述によると、刈払機を最後に使用したのは約1か月前であり、出火当時エンジンは停止状態であったため、通電による電気系統からの出火及び使用による機器本体の発熱からの出火などは考えられず、刈払機からの出火は否定した。

イ ポールソーについて

ポールソーのリチウムイオンバッテリー（以下、「バッテリー」という。）周辺部分は、円筒形電池セル20本を残し全て焼失しており、残存した電池セルのうち1本に内部の電極体の激しい焼損が認められたことから、当該焼損部分にて内部短絡が生じていた可能性が高いと考えられた。また、犬走り上に置かれたポールソーの位置から出火したと仮定すると、外壁の焼け上がりの状況とも一致するため、本火災の原因は、



【写真3 刈払機の焼損状況】



【写真5 バッテリーの焼損状況（同等品との比較）】



【写真4 ポールソーの焼損状況】



【写真6 焼損した電池セル】

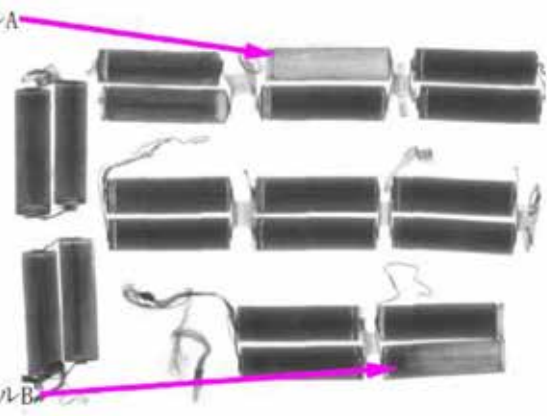
ポールソーに接続していたバッテリーの電池セルが内部短絡を起こし出火、建物外壁へ延焼したものと推定した。

3 バッテリーの電池セルの状況

- 電池セルをX線透過観察した結果、電池セルの2本（電池セルA・B）は内部の電極体が著しく損傷して殆ど残っていなかった。



【写真7 焼損した電池セル】



【写真8 写真7のX線写真】

- X線透過観察により損傷が認められた電池セルの電極体を展開した結果、電池セルAの電極体は、正極アルミ箔及びセパレーターが焼失し、負極銅箔も大半が欠損しており、内部短絡が発

生した痕跡が認められた。また、電池セルBの電極体は、正極アルミ箔及びセパレーターが焼失し、負極銅箔も電極体の中心側の多くが欠損していた。



【写真9 電池セルAの電極体の展開状況】



【写真10 電池セルBの電極体の展開状況】

4 考察

(1) 出火に至る経過

リチウムイオン電池が内部短絡に至る主な原

因は、過充電、過放電、外的衝撃及び非純正品の使用などが考えられるが、関係者の供述によると、バッテリーは純正品であり、数日前に充電した後にポールソーに装着して存置していた

状況であったため、これらの原因は否定できる。

当該ポールソーが夏季にバッテリーを装着したまま屋外に存置されていたことを鑑みると、日中の気温上昇及びそれに伴う犬走りの温度上昇等の影響により、バッテリー内部が高温となり、それが内部短絡の要因となった可能性が考えられる。また、関係者が雨水の侵入を防ぐため、バッテリー部分をビニール袋で覆っていた旨の供述をしていることから、バッテリー内部で蓄熱状態が継続していたことも十分考えられる。

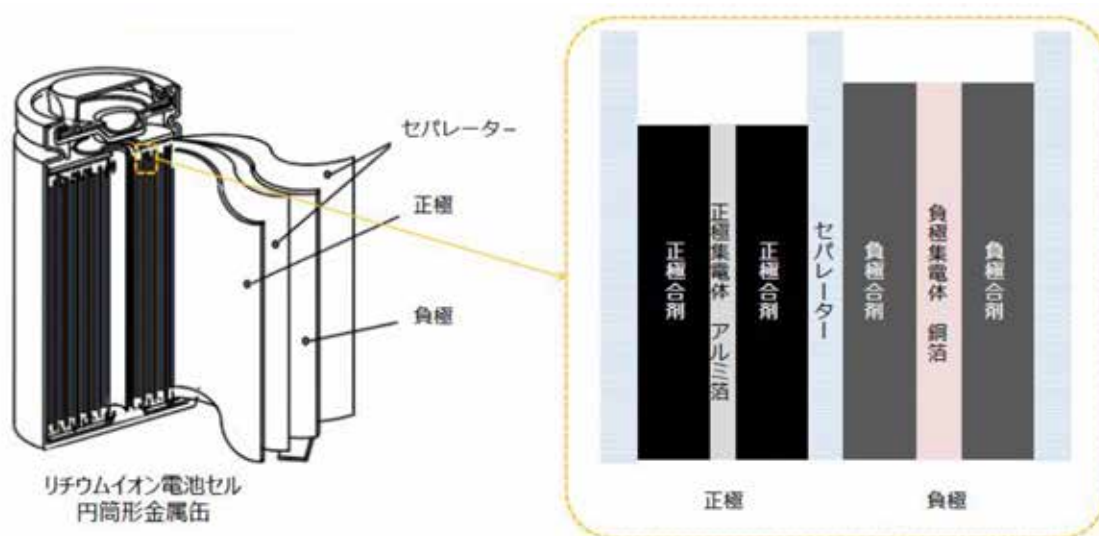
リチウムイオン電池については、炎による直接加熱など、著しい高温に曝された場合に出火する可能性は過去の実験などにより実証されているものの、外気温の上昇など、一般的な自然環境下で想定されうる高温環境（概ね100℃以下）においてリチウムイオン電池が加熱された

結果、内部短絡を起こし出火したとされる事例や検証はあまり報告されていない。よって、その可能性について検証を行うため、リチウムイオン電池の加熱実験を行うこととする。

実験に先立ち、リチウムイオン電池の一般的な構造を紹介したうえで、推測される出火メカニズムについて記述する。

(2) リチウムイオン電池の構造

一般的なりチウムイオン電池のセル内部は、コバルト酸リチウムなどが塗布されたアルミ箔を用いた正極、炭素などが塗布された銅箔を用いた負極、両極の絶縁のためのセパレーターからなる電極体の層が渦巻き状に巻かれた構造となっており、その周囲には両極の電子をやり取りするための電解質として可燃性の有機溶媒が満たされている。

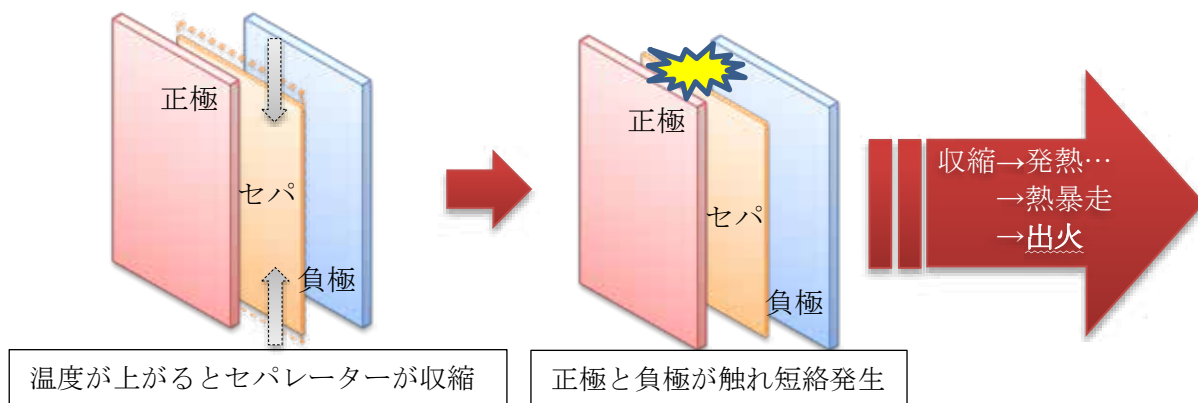


(3) 推測される出火メカニズム

セパレーターには一般的にポリオレフィン系樹脂が使用されているが、周囲温度が通常の使用温度範囲を超える温度となると徐々に収縮し始めるとされている。

正極及び負極を隔てているセパレーターが収

縮すると両極が直接接触する状態となり、微小な短絡が生じ発熱が生じる。その発熱により連鎖的に収縮及び微小短絡が継続し、最終的には発熱が止まらなくなる「熱暴走」状態に至り、出火に至るほどの大きな短絡に繋がると考えられる。



5 実験

(1) 実験の目的

高温環境下（100℃以下）におけるリチウムイオン電池の内部短絡による出火可能性について検証し、そのメカニズムを観察するものである。

(2) 実験日時

令和3年10月中旬から11月上旬 計3回（1回あたり約20時間程度）

(3) 実験の内容と方法

満充電したリチウムイオン電池をホットプレート上で加熱し、熱電対温度記録計を用いて表面温度の測定を実施する。なお、ホットプレートの設定温度は約80℃から100℃とする。また、周囲温度を高温に保つため、ホットプレート周囲を水槽で覆う。また、電池の個体差等を考慮し、使用するリチウムイオン電池は以下の3種類を準備し、それぞれ同条件にて実験を実施する。

① 実験1

メーカーから提供を受けた出火品と同等品のリチウムイオンバッテリー

出力電圧：36V 容量：5.2Ah

生産国：スウェーデン

種類・本数：円筒形セル17本



【写真11 バッテリー分解後】



【写真12 実験中】

② 実験2

ハンドライト用リチウムイオンバッテリー

出力電圧：14.4V 容量：4.4Ah

生産国：台湾

種類・本数：円筒形セル3本



【写真13 バッテリー分解後】



【写真14 実験中】

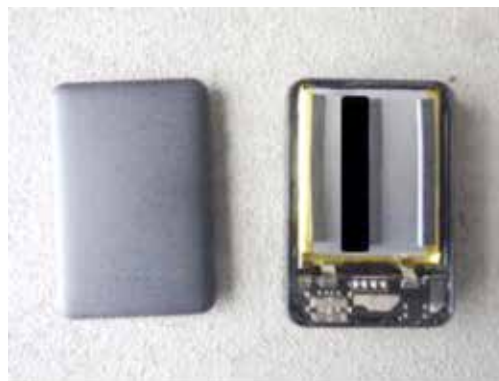
③ 実験3

携帯電話用リチウムイオンモバイルバッテリー

出力電圧：5V 容量：4Ah

生産国：中国

種類：角型



【写真15 バッテリー分解後】

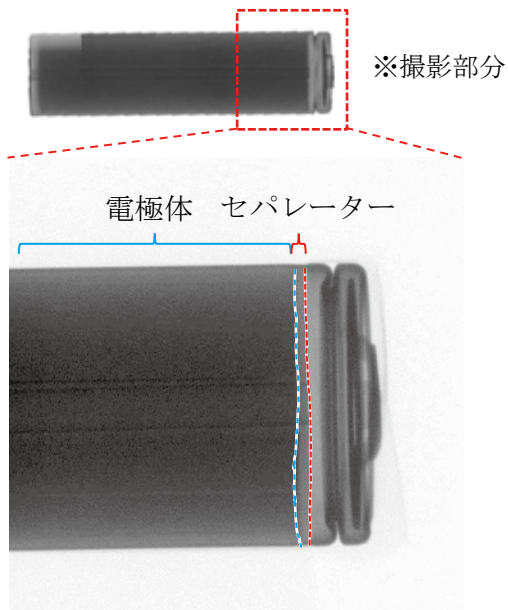


【写真16 実験中】

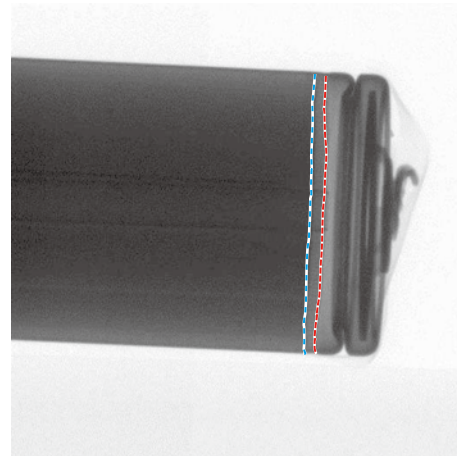
6 実験結果

実験1～3のいずれも、実験開始から約20時間経過しても破裂や出火は確認できなかった。電池の表面温度についてもホットプレートの設定温度(80℃～100℃)付近を推移し、熱暴走に至ることはなかった。

そこで、加熱による電池内部の電極体への影響を確認するため、実験にて加熱した電池セル及び同種類の加熱していない電池セルについて、NITEの協力を得てX線透過観察及び展開したセパレーターの比較観察を実施する。



【写真17 加熱後の電池】



【写真18 未加熱の電池】

(1) X線透過観察

X線透過撮影により電極体の収縮の有無や巻き状態の観察を行う。

① 実験1の電池

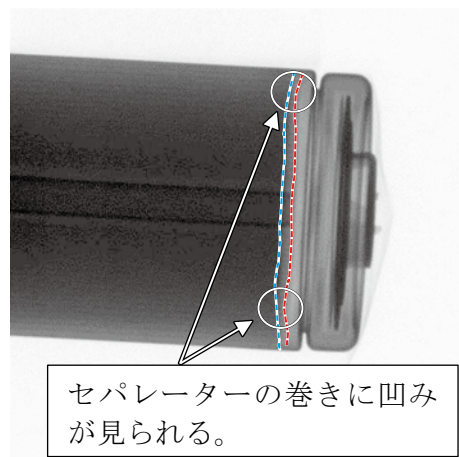
加熱後と未加熱の電池について、内部の電極体の状態に大きな差異はなく、セパレーターの明らかな収縮などは見られなかった。

② 実験2の電池

未加熱の電池と比較し、加熱後の電池のセパレーターには正極側の巻き両端付近に凹みが見られる。

③ 実験3の電池

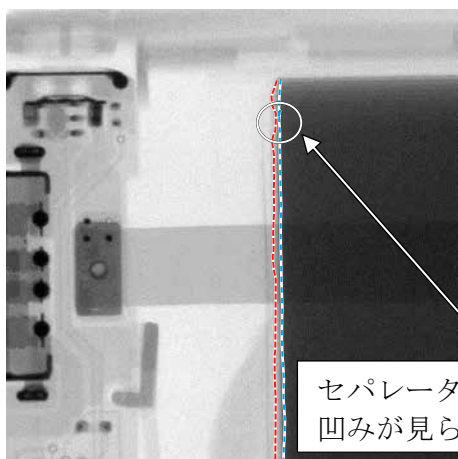
未加熱の電池と比較し、加熱後の電池のセパレーターには回路基板側の巻き両端付近に凹みが見られる。



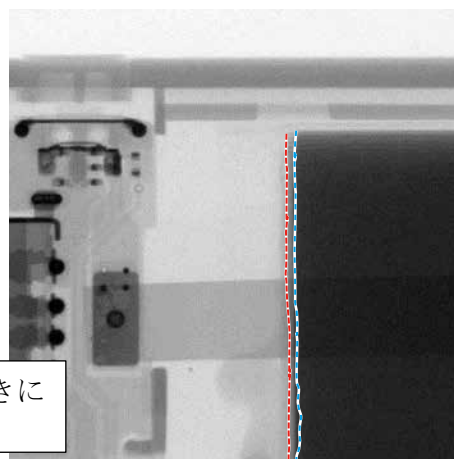
【写真19 加熱後の電池】



【写真20 未加熱の電池】

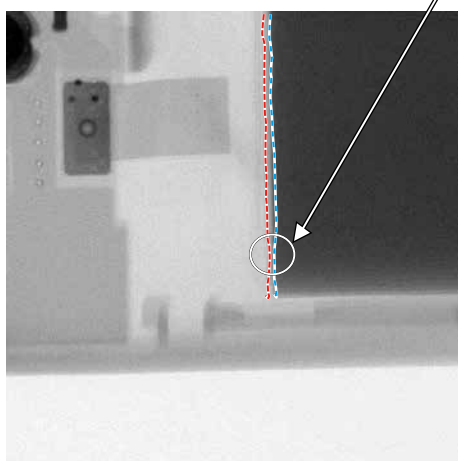


【写真21 加熱後の電池（上端）】

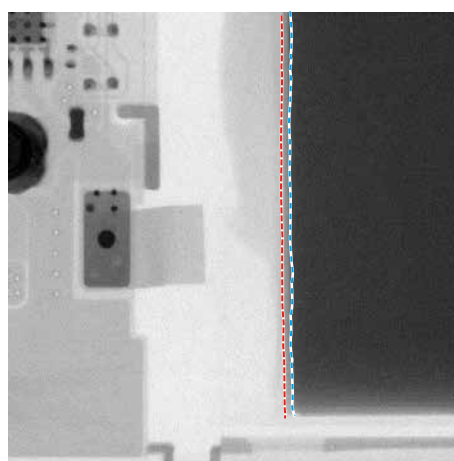


【写真22 未加熱の電池（上端）】

セパレーターの巻きに
凹みが見られる。



【写真23 加熱後の電池（下端）】



【写真24 未加熱の電池（下端）】

以上のことから、実験②及び実験③で使用した加熱後の電池について、セパレーターの巻きに凹みが確認できた。これを加熱による収縮の影響と断定することはできないが、加熱後の電池にのみ確認できたことを踏まえると、加熱がセパレーターに何らかの影響を与えていることは大いに考えられる。

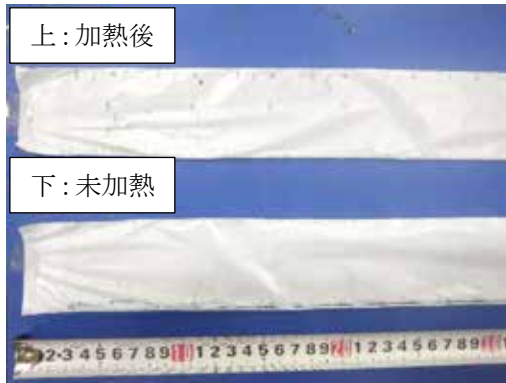
(2) 展開したセパレーターの観察

電池セルを展開し、セパレーターについて収縮などの異常がないか観察する。

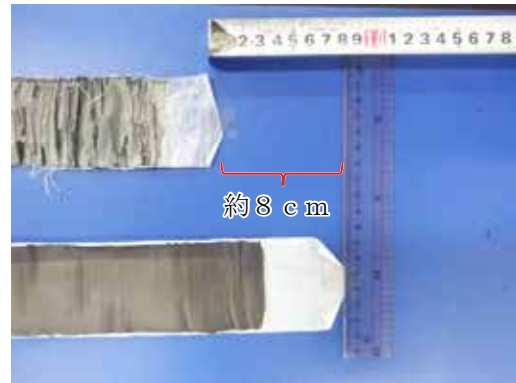
① 実験1の電池

実験1の電池の電極体については、外側から順に負極、セパレーター、正極、セパレーターの4層に巻かれていた。2枚のセパレーターのうち、外側のセパレーターについて比較観察する。

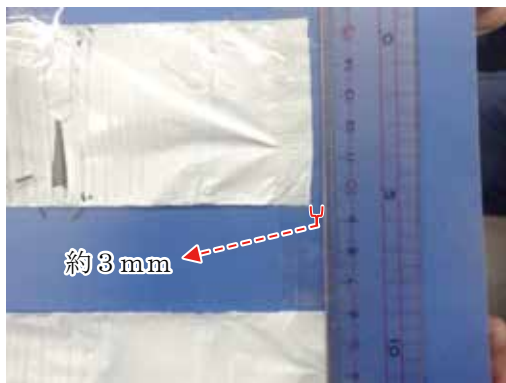
加熱後と未加熱の電池それぞれのセパレーターについて、外観上は明らかな差異は認められない。全長を比較すると、加熱後の電池が未加熱の電池よりも約3mm短いことが確認できる。



【写真25 セパレーターの比較】



【写真28 全長の比較】



【写真26 全長の比較】

② 実験2の電池

電極体は実験1の電池と同様の順番で巻かれていた。外側のセパレーターについて比較観察する。

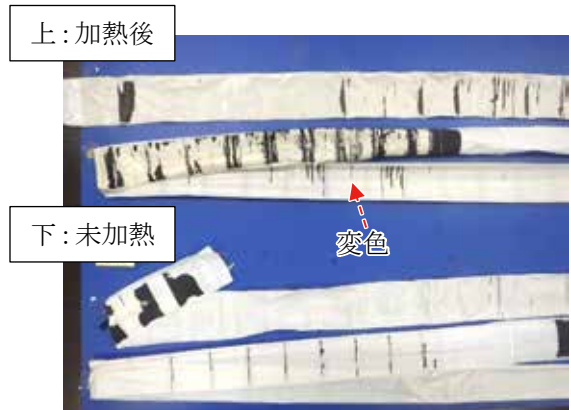
未加熱の電池と比較し、加熱後の電池のセパレーターには明らかな変色及び縮れが確認できる。また、全長を比較すると、加熱後の電池が未加熱の電池よりも約8cm短いこと

が確認できる。

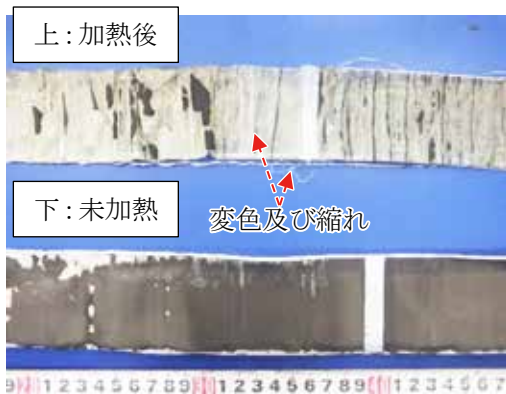
③ 実験3の電池

電極体は実験1及び実験2の電池と同様の順番で4層に巻かれているが、セパレーターについては1枚を折り返した形で巻かれていた。

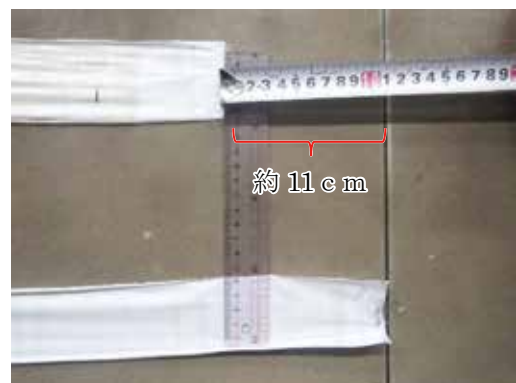
未加熱の電池と比較し、加熱後の電池のセパレーターには若干の変色が確認できる。ま



【写真29 セパレーターの比較】



【写真27 セパレーターの比較】



【写真30 全長の比較】

た、全長を比較すると、加熱後の電池が未加熱の電池よりも約11cm 短いことが確認できる。

以上のことから、全ての実験で使用した加熱後の電池について、未加熱の電池と比較しセパレーターの全長が短いことが確認された。特に実験②及び実験③で使用した加熱後の電池のセパレーターは未加熱の物と比較し顕著に短く、変色も確認できたことから、加熱によりセパレーターが収縮、劣化したことが推察される。

7 考 察

加熱実験の結果、破裂や出火には至らなかったものの、加熱した電池と未加熱の電池のセパレーターの比較の結果から、長時間高温環境下に置かれることで、セパレーターの収縮や劣化が見られる電池があることが確認できた。

また、その収縮及び劣化の有無や程度には電池自体の個体差があることも推察された。

8 今後の教訓と課題

今回の研究により、夏季の屋外や高温となりやすい車内など、通常の使用温度範囲を超えるような高温環境下でのリチウムイオン電池の保管や使用は、その危険性を増加させる因子となることが明らかとなった。一たびセパレーターの収縮が起こった電池は、継続的に使用や充電を繰り返した

場合、熱暴走を起こし出火してしまう危険性が高まるといえる。

なお、リチウムイオン電池を使用している製品の取扱説明書には、通常適切な使用温度範囲及び高温環境下で使用しない旨の注意書きが記載されている。また、耐熱性のあるセパレーターの研究や、電解液に可燃性の溶媒ではなく水などを用いた新たなリチウムイオン電池の開発など、メーカー側の企業努力により、リチウムイオン電池の危険性の周知や低減が進められていることは言うまでもないところである。

しかし、今般のリチウムイオン電池の普及とそれに伴う使用形態の広範化は急激なスピードで進んでおり、その危険性の周知が個々の消費者まで行き届いているかどうかには疑問が残る。また、セパレーターの技術革新や新たなリチウムイオン電池の開発についても、実用化及び普及に至るまでには暫く時間を要すものと思われる。そのため、消防組織としても、リチウムイオン電池の管理方法や使用方法について、今後とも継続的な火災予防広報や啓発を行っていく必要があると考える。

9 参考資料等

「リチウムイオン電池の熱暴走メカニズムと高安全性技術」(表面技術、2019)

「リチウムイオン電池関連製品の製造と安全性」(NITE 公表資料)