

リチウムイオンバッテリー  
セル用セパレータの  
セーフガード



Empowering Trust™



## 概要

リチウムイオンバッテリーセルの設計と構造における技術進歩は、モバイル技術が広く普及する上で重要な役割を果たしてきました。この進歩により、あらゆる種類のエネルギー利用デバイスにおける重要な技術革新が可能となり、バッテリー駆動アプリケーションの適用範囲が、産業用、商用、住居用の電力システムだけでなく、自動車やその他のモビリティにも拡大しました。

一方で、エネルギー密度とサイクル寿命の向上したバッテリーセルの設計と構造によっては、安全性のリスク、特に、リチウムイオンバッテリーに使用されるセパレータが可燃性電解液を用いたセルに使用される場合、その選定、設計、製造に関連した問題によって可能性が増す場合があります。これらの問題により、バッテリーの堅実性が損なわれ、熱暴走や発火、あるいは爆発にさえつながる恐れのある内部短絡の可能性が高まる一因となることがあります。

本UL白書では、リチウムイオンバッテリーセルにおけるセパレータ材料の重要性と、電池に係る安全性リスクを低減する上でセパレータ材料の認証が果たすことができる役割について解説します。バッテリーの安全性に関する一般的な懸念事項やバッテリーセパレータの材料に関する特有の安全面の懸念事項について解説します。次に、UL 2591「バッテリーセパレータの調査概要」に基づくセパレータ部品の試験および、部品認証のメリットについて解説します。

# 21世紀における リチウムイオンバッテリーセルの用途

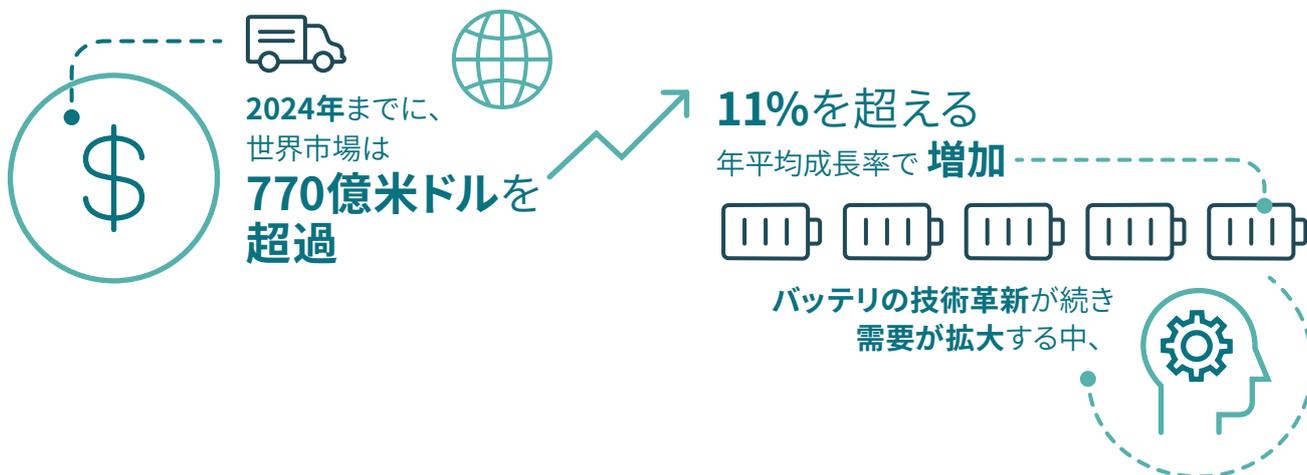
この数十年のうちに、充電可能な(二次電池としても知られる)リチウムイオンバッテリーセルの技術が世界の様相を変えました。1980年代前半のささやかなスタートから、5年前に最先端であった電池と比較しても、現世代のリチウムイオンバッテリーセルは、大幅に高いエネルギー密度、サイクル寿命の長期化、および高い信頼性を備えています。これらの進歩によって高度な電子機器の携帯性が劇的に向上し、モノのインターネット(IoT)と呼ばれる状況を生む推進力となり、エネルギー効率を向上し化石燃料への依存度を低減するための世界的な取り組みを支援しています。

現在、商業化されているリチウムイオンバッテリーセル、バッテリーモジュール、バッテリーパックは、以下に示すカテゴリのシステムやデバイスを含む幅広い電気および電子技術に使用されています。

- **民生用電気および電子機器**  
スマートフォン、ノートPC、タブレットからヘルス・ウェルネストラッカーまで  
いわゆる、ポータブルアプリケーション
- **医療機器**  
患者モニタ、ハンドヘルド手術用ツール、ポータブル診断装置などの医療診断装置

- **産業機器**  
コードレス工具、通信システム、ワイヤレス・セキュリティシステム、および固定式、車両用またはポータブルの電子機器
- **自動車用途**  
バッテリー電気自動車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、および電気軽自動車
- **公共およびエネルギーインフラ**  
公共用、商用、住居用の太陽光およびその他の電力システムと組み合わせ、発電エネルギーの蓄電システム

急速に拡大するバッテリーの用途およびアプリケーションは、今後数年でリチウムイオンバッテリーの世界需要の大幅な増加を促進させる可能性があります。ある推定によれば、リチウムイオンバッテリーセル、バッテリーモジュール、バッテリーパックの世界市場は、11%以上の年平均成長率(CAGR)で成長し、2024年までに年間売上が770億米ドルを超えると予測されています<sup>1</sup>。同時に、バッテリーの技術革新が進むと、リチウムイオンバッテリーのアプリケーションがさらに拡大し、将来の需要がいつそう増加すると見込まれます。





## リチウムイオンバッテリーセルに関連する安全性の問題

リチウムイオンバッテリーセルは、リチウムイオンが電解液中を、放電中は負極(アノード)から正極(カソード)へ、充電中は正極から負極へと移動するエネルギー蓄積デバイスです。

リチウムイオンバッテリーの電気化学的にアクティブマテリアルとしては、通常、正極にはリチウム金属酸化物、負極にはリチウム化炭素が使用されます。電解液は、液状、ゲル、ポリマー、あるいはセラミックを使用することができます。液状の電解液に対しては、(ミクロンレベルに)マイクロポーラスフィルム(バッテリーセパレータ)が、イオン輸送が可能な状態を保ちつつ、正負極間を電氣的に絶縁しています。性能上および安全上のさまざまな問題に対処するために、基本となるリチウム化学が多種多様に応用されています。

信頼できるリチウムイオンバッテリーセルメーカーでは、想定されるあらゆる使用条件下で安全に所定の性能を発揮するように製品を設計します。

さらに、通常、パッシブおよびアクティブな保護デバイスがバッテリーセルの設計に組み込まれており、熱的安定性や内部短絡に関連する故障など、多種の故障リスクを防止あるいは軽減しています。そのため、性能や安全性面の故障は、一般に、バッテリーの設計、材料、構造の質の悪さや、ユーザーによる誤使用や不正使用のいくつかが組み合わさり起こります。

リチウムイオンバッテリーセルの内部短絡は、適切に設計された安全機能内蔵のセルでさえ起こり得るため、電池メーカーにとって特に懸念される分野です。ほとんどの場合、内部短絡は、バッテリーセパレータに破れ目ができ、バッテリーの正負極間に意図せぬ経路が生じた場合に発生します。この経路によってバッテリーのアクティブマテリアルが発熱し、次いで自己持続性の発熱反応が始まり、熱暴走や発火、爆発に至る可能性があります。



通常、リチウムイオンバッテリーのセパレータに破れ目が生じるのは、電池内部の層が変形しセパレータ構造に欠陥を生じさせるほど強い外力が加わったことに関係しています。その結果、リチウムイオンバッテリーセルの安全性と性能に適用される規制のほとんどは、衝撃・振動に加え、圧壊やその他の直接的な衝突に対する電池の強度や復元力の評価を目的とした多くの機械的試験を要求しています。ULは、バッテリーモジュールやバッテリーパックのレベルで安全性試験を実施する手法を開発し、バッテリー表面での局所的な加圧による持続的圧力に対するリチウムイオンバッテリーの耐性を測定する試験など、リチウムイオンバッテリーセルの機械的強度を評価するための高度な試験法の開発に貢献してきました。

同時に、性能特性を向上させ、より小型軽量なリチウムイオンバッテリーセルを開発する取り組みにより、バッテリーセパレータや他の基本的なバッテリー材料に大幅な変更が加えられました。たとえば、より薄いセパレータを使用する場合、同一セルサイズでより多くのアクティブマテリアルが使用でき、エネルギー密度を大幅に増加させることができる可能性があります。これらの知見により、多くのリチウムイオンバッテリーセルメーカーが、使用するセパレータ材料の厚さを低減し、性能向上のためにセパレータにその他の変更を加えることになりました。

しかし、これらの変更によって、バッテリーセパレータにとって最も重要な安全機能を果たすという能力を損なう可能性もあります。セパレータの厚さが全体的に減少すると、セパレータが、材料の製造中やバッテリーセルの組立工程中に発生する、材料の強度、安定性、透過性に悪影響を及ぼす欠陥に対して、より敏感になる可能性があります。セパレータが薄くなると、外部の損傷に対して脆弱になり、そのために過熱や熱暴走のリスクが高まる可能性があります。

# リチウムイオンバッテリーのセパレータ材料に関するULの研究

さまざまなセパレータ材料がリチウムイオンバッテリーの安全性に影響を与える程度を評価するために、ULでは最近、様々な異なる種類と厚さの市販バッテリーセパレータを使用したコバルト酸リチウム(LiCoO<sub>2</sub>)のグラフィックパウチセルの総合的な評価を実施しました。

2018年の初めに完了したこの評価では、ポリプロピレン、ポリエチレン、セラミック被覆ポリエチレンなど5種類のセパレータを使用したサンプルセルで試験しました。さらに、試験したセルには、16 μmから7 μmまでの厚さの範囲の一体化したセパレータを使用しました。

ULの評価中、各サンプルセルには、一般的なバッテリーセルの非定常状態をシミュレートする以下の4つの個別の試験評価を行いました。

- 温度急昇試験
- 過充電試験
- 内部短絡試験
- 外部短絡試験

同時に、セルのサンプルに使用されたセパレータの以下の物理的特性を評価しました。

- 熔融温度
- 熔融破裂温度
- 釘刺耐性
- 寸法安定性
- シャットダウン機能
- 膜厚

これによって、ULではセルの故障条件とそれぞれのセパレータ材料の特性間で想定される相関関係を評価しました。

一般に、本評価中に得られた試験データをULで解析した結果、極端に薄いセパレータ材料単独では、必ずしもバッテリーセル故障の主要因にはならないと判断しました。

むしろ、ULの試験により、バッテリーの性能や安全性において、いっそう重要であるとまでは言えなくても同等に重要な役割を果たしているのは、釘刺強度、熔融温度、熔融完全性、寸法安定性などセパレータの物理特性であることが明確に示されました。詳細検討は実施するとしても、これらの結果から、バッテリーセルの仕様を決める過程でセパレータ材料の物理的特性と、その特性がバッテリーセルの安全性と性能にどのように影響するかについて徹底的に理解することの重要性を明確に示しています。

ULはバッテリーセパレータに関する研究を継続します。最近、完了した評価結果を基に、ULは、セパレータの種類を拡大し、不織繊維のセパレータなどを含め、2018年内に2回目の試験を実施する予定です。ULは、現在市場にある40種類以上のさまざまなセパレータに対し、それらの物理的特性を評価するために、ベンチマークテストも実施しています。このベンチマークテストの結果は、バッテリーセパレータの品質と性能の詳細を記述した総合データベースとする予定で、さらなる試験や評価に向けた材料選定が容易になります。



ULは、150サイクルから1,200サイクル以上という長期間にわたる充放電サイクルでバッテリーセパレータの劣化を評価しています。この評価により、セパレータの特性が経時変化に関する洞察が得られると期待でき、目的とする用途と予想寿命に基づいてセパレータを適切に選定する上で役立ちます。

## UL 2591とバッテリーセルセパレータの安全性

UL 2591「Outline of Investigation for Battery Cell Separators」は、リチウムイオンバッテリーセルに使用されるセパレータの安全性を評価するための規格です。この規格では、正負極間の電気絶縁性を提供することを目的とするバッテリーセパレータの試験手順を定義しています。そのため、セパレータを評価し選定する際にリチウムイオンバッテリーメーカを支援する便利なツールとしての役割を果たします。

2009年の初版時、UL 2591は、極めて多くのバッテリーセルの故障、特に製造レベルが十分ではないバッテリーセパレータに起因する故障に対処する業界全体の取り組みの一部でした。最近では、ULやその他の機関による経験や研究が進んだことにより、バッテリーセパレータの故障の一因である可能性がある特定の要因に対する理解が深まってきました。その結果、UL 2591は、現在さらに改訂が進められており、第三版の規格は2018年後半に発行される見込みです。

UL 2591の第三版では、膜厚、寸法安定性、シャットダウンおよび熔融温度、通気性、引張強度、および釘刺強度の分野で、バッテリーセルセパレータの試験手順を改定しています。さらに、この改訂では、材料の多孔性、ポアのサイズと分布、湿潤性と燃焼熱の評価が、バッテリーセパレータに対する新しい規定として追加されています。UL 2591の第三版では、セパレータのサンプルに以下の試験を実施します。

### 物理特性

- **通気性** — 通気性試験は、特定の圧力でセパレータ材料の空気通過に対する耐性を評価することを目的としています。試験はASTM D726の試験方法に従います。
- **膜厚** — 膜厚測定では、セパレータサンプルの膜厚の一様性の度合いを測定するために特殊な機器を使用し、製品の一貫性を評価することを目的としています。
- **多孔性** — 多孔性試験では、基板が濡れるほどにセパレータを液体に浸し、その前後でセパレータの重量を測定することによりセパレータの吸収度を測定します。
- **ポアサイズと分布** — この試験では、ガスがセパレータの流圧と流量を測定することにより、セパレータ中のポアサイズと分布を評価します。試験方法は、SAE J2983に従います。



UL 2591「Outline of Investigation for Battery Cell Separators」は、リチウムイオンバッテリーセルに使用されるセパレータ材料の安全性を評価するための規格です。

- **湿潤性** — 湿潤性試験では、セパレータが電解液に接触した場合に完全に濡れるのに必要な時間を測定します。試験および測定法は、NASA/TM 2010-216099の試験方法に従います。

### 機械特性

- **引張強度** — 引張強度試験では、セパレータの引張強度と伸長に対する耐性を評価します。引張強度試験は、ASTM D882の試験方法に従います。
- **釘刺強度** — 釘刺強度試験は、鋭器と鈍器の両方による貫通に対するセパレータの耐性を評価することを目的としています。試験は、ASTM D3763の試験方法に従います。

### 熱特性

- **寸法安定性** — 寸法安定性試験では、リチウムイオンバッテリー内部で起こる内部温度の上昇を受けた場合のセパレータの収縮あるいは歪を評価します。
- **シャットダウン温度** — シャットダウン温度試験は、ある温度範囲での材料のインピーダンス変化を評価することを目的としています。
- **熔融温度** — 熔融温度試験では、セパレータ材料が熱への暴露によって分解する際の温度レベルを評価します。試験は、UL 746A (ASTM D3418)の試験方法に従います。

### 燃焼性

- **燃焼熱** — この試験では、セパレータ材料が燃焼した結果として消費されるエネルギーを評価します。試験は、ASTM D5865の試験方法に従います。

### 材料特性評価

- **材料の同定/特性評価** — 材料の同定および特性評価試験では、材料の組成、構造、コーティングなど、セパレータの特性を確定します。

UL 2591の改訂版では、リチウムイオンバッテリーメーカーがその特定の用途に最も適したセパレータを選定する際の支援のために、主要性能基準値の区別も検討中です。



# ULによるバッテリーセルセパレータ部品認証の重要性

ULのバッテリーセルセパレータ評価プログラムは、リチウムイオンバッテリーセルとバッテリーセパレータのメーカー向けに開発されたもので、現在の高度なリチウムイオンバッテリーセルに使用されるセパレータの品質を確保する業界の取り組みを支援することを目的としています。この評価プログラムは、セパレータのパラメータとUL 2591に詳述されている試験手順を利用し、バッテリーの安全性と性能の両方にとって重要なセパレータの品質要因を評価するものです。



バッテリーセパレータは、バッテリーの使用目的や予想される非定常状態によって大きく変化する可能性があることに注意することが重要です。たとえば、バッテリーセルは、ある用途に対しては高い溶融温度を備えたセパレータが必要となる場合や、別の用途に対しては高い釘刺耐性や良好な寸法安定性を備えた材料が必要こともあります。最終的に、採用されたバッテリーセパレータの最適な製品仕様を決める際にこれらの要因も考慮する必要があります。

したがって、ULの評価プログラムはセパレータの同定および特性評価を目的としており、個々の試験結果と関連する合否基準を課すものではありません。このアプローチにより、セパレータメーカーは製品の重要な安全品質と限界を正確に記述することができますようになります。

また、リチウムイオンバッテリーメーカーが自社の既定のバッテリーアプリケーション要件に最も適合するセパレータを容易に選定できるようになります。

ULのフォローアップ・サービス(FUS)の検査は、バッテリーセパレータ評価プログラムの不可欠な要素です。FUSに従ってセパレータ製品サンプルを定期的に試験することにより、メーカーはセパレータのパラメータの一貫性を確認することができ、バッテリーの安全性と性能に悪影響を及ぼす可能性があるセパレータの設定仕様からの偏差を特定できます。これにより、セルメーカーにとってはサプライチェーンの堅実性が向上し、バッテリーセパレータの品質がULの要件に継続して適合することを確実なものとするのに役立ちます。

ULのバッテリーセパレータ評価プログラムで評価されたセパレータは、認定された各セパレータの性能パラメータに関する詳細情報とともにULの公開情報である「UL Product iQ」に掲載されます。これによって、リチウムイオンバッテリーセルのメーカーは、目的のアプリケーションの設計要件に最も適合するセパレータを検索することができます。また、ULが既に認証しているセパレータに対しては、新たな試験や調査は要求されないため、セルメーカーが認証取得するために必要な時間と労力も削減できます。

## まとめ・結論



リチウムイオンバッテリーセルの利用は拡大と進化を続けており、バッテリー寿命を延ばし、エネルギー効率を向上させるために、セルの開発者は、設計の変更や異なるバッテリーの採用についての評価を続けることとなります。この取り組みの成功は、ひとつには、設計と材料選定がバッテリーの目的用途の要件に適合できるよう、セパレータの固有特性に関し、より詳細に理解することにかかっています。したがって、セパレータメーカーは、適切なセパレータの選定とバッテリーの最適なレベルの安全性確保を確実にする支援のために、自社のセパレータを試験し認定する必要があります。

UL 2591およびULのバッテリーセル・セパレータ評価プログラムは、独立した第三者によるバッテリーセパレータの特性評価試験を提供することにより、また、セパレータが設定仕様に確実に適合し続けることを支援する製造後の製品検査と試験のフォローアップを通じ、不可欠な役割を果たすことができます。

リチウムイオンバッテリーセル・セパレータのULの試験、ULのその他のバッテリー試験プログラムに関する詳細情報については、EメールでPMSales@ul.comまでお問い合わせください。

## End Notes

1. “Lithium-ion Battery Market by Power Capacity Analysis, by Application Analysis, and by Regional Analysis—Global Forecast by 2016-2024,” a report produced by Market Research Engine, April 2017. Web. 20 May 2018. <https://www.marketresearchengine.com/lithium-ion-battery-market>.



UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2018. All rights reserved. This white paper may not be copied or distributed without permission. It is provided for general information purposes only and is not intended to convey legal or other professional advice.

## 株式会社 UL Japan 事業所案内

ul.com/jp

**本社** 〒516-0021 三重県伊勢市朝熊町4383-326  
T: 0596-24-6717 F: 0596-24-8020

**東京本社** 〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-8-3  
丸の内トラストタワー本館6階  
T: 03-5293-6000 F: 03-5293-6001

### 問い合わせ先 カスタマーサービス

Email: [customerservice.jp@ul.com](mailto:customerservice.jp@ul.com)

T: 03-5293-6200 F: 03-5293-6201

**本社安全試験所** 〒516-0021 三重県伊勢市朝熊町3600-18  
T: 0596-24-8008 F: 0596-24-8002

**本社EMC試験所** 〒516-0021 三重県伊勢市朝熊町4383-326  
T: 0596-24-8999 F: 0596-24-8124

**グローバルマーケットアクセス** 〒0596-24-8116 F: 0596-24-8095

**湘南EMC試験所** 〒259-1220 神奈川県平塚市めぐみが丘1-22-3  
T: 0463-50-6400 F: 0463-50-6401

**横輪EMC試験所** 〒516-1106 三重県伊勢市横輪町108  
T: 0596-24-8750 F: 0596-39-0232

**鹿島EMC試験所** 〒289-0341 千葉県香取市虫幡1614  
T: 0478-88-6500 F: 0478-82-3373

**オートモーティブテクノロジー  
センター (ATC)** 〒470-0217 愛知県みよし市根浦町1-3-19  
T: 0561-36-6120 F: 0561-36-6820

UL の名称、UL のロゴ、UL の認証マークは、UL LLC の商標です。© 2018  
その他のマークの権利は、それぞれのマークの所有者に帰属しています。  
本内容は一般的な情報を提供するもので、法的並びに専門的助言を与えることを意図したものではありません。

1811NS300\_V1.0

