

# 次世代「セルトゥパック」構成用 熱伝導性接着剤

白書



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

# 次世代「セルトゥパック」構成用 熱伝導性接着剤



Tim Fornes - テクノロジーフェロー



Susan Donaldson  
- サイエнтиスト I



Kraig Turner - エンジニア II

## 要旨

バッテリーパック技術の著しい成長と発展により、電気自動車 (EV) メーカーはパック設計の最適化に力を入れてきています。メーカーは、エネルギー密度を高め、コストを削減するために、さらに軽量で小型のソリューションを求めています。同時に、製造方法もより簡素化し費用を下げようと努力しています。これらの目標を早く達成する方法として、バッテリーモジュールのハウジングを無くし、個々のセルを冷却プレートに直接接着する、「セルトゥパック (Cell-to-Pack, CTP)」[1-3]として知られる戦略があります。長期的ソリューションとしては、ほとんど概念的なものではありますが、車両のシャーシに直接セルを接着することまで含まれます [3-4]。これらの新しいトレンドに対応するため、特に厳しい環境および機械的性能条件が課される中で、新しい熱導電性接着技術が必要とされています。この白書では、上記の要件を念頭におき、角型バッテリーセルをアルミ冷却プレートに直接接着することが可能な熱伝導性ウレタン接着剤の新たな進展について検討します。また、従来のバッテリーパック構成や関連する接着剤ソリューションとの比較についても考察します。

## 序論

### 現在のバッテリーパック構成

非常に厳格な安全基準と手順で豊富なサプライチェーンを背景に、EVメーカーの大半は共通のバッテリーパック構成に収束しています (図1参照)。このバッテリーパック構成は多数のバッテリーモジュールで構成され、各モジュールに個々のバッテリーセルのグループが含まれます。このアプローチにより、分散型/バッテリーモジュールの制御、監視、およびサービスが可能になります。また、バッテリーの衝突防止や環境保護を提供し、モジュール間やモジュール周囲の電気的絶縁を強化し、熱暴走時の火災伝播防止にも貢献します。

図2に示す通り、熱管理の観点から、現在のモジュール式バッテリーパック構成では、最低でも2つの分散型熱伝導材 (TIM) もしくは「ギャップフィラー」 (GF) が使用されています。両方のギャップフィラーが、液冷プレートを利用してモジュールの温度を調整し、安全で効率的な性能を確保しています。上部ギャップフィラーが、個々のバッテリー下部の間、およびバッテリー底部とモジュール筐体内壁との間の大きな空間や隙間を充填します。これによりバッテリーが定位置にしっかりと固定され、熱が伝わる連続的な熱伝導 (TC) 経路が確保されます。

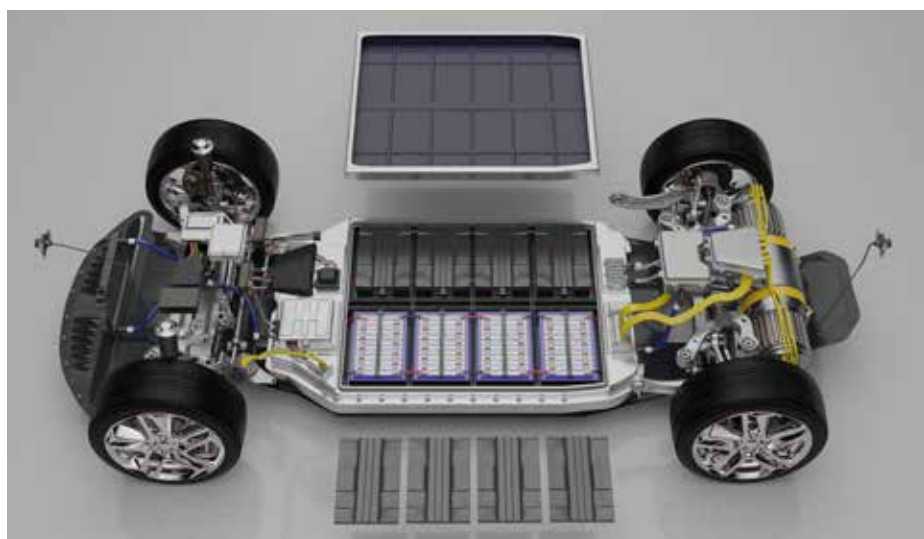


図1: 多くのOEMが採用する、現在のモジュールベースのバッテリーパック構成例

このようなギャップフィラー（本文書では「セルトウ モジュール(Cell-to-Module, CTM)」ギャップフィラーと呼ぶ）の多くは、ウレタンなどの化学物質をベースにしていることが多く、強力な接着性と、応力の吸収に役立つ高い柔軟性を備えています。

下部のギャップフィラーは、バッテリーパック全体にわたり、セルモジュールと大型冷却プレートとの間の大きな空間を充填するものです(図2参照)。この材料(本文書ではモジュールトウパック(MTP)と呼ぶ)も、隣り合うインターフェース間で熱伝導を提供しますが、CTMギャップフィラーとは異なり、冷却プレート表面に軽く接着するように設計されています。接着強度が低いいため、修理の際に離散型モジュールを容易に取り外すことができます。通常、MTPギャップフィラーは、シリコンやソフトウレタンなどの非常に柔軟な化学物質をベースに作られています。CTM、MTP、および補助的なEVと電子機器の用途向けに設計されたCoolTherm®製品の詳細や事例については、本文書で言及している白書[5-9]およびlord.com/coolthermを参照してください。

#### 次世代「セルトウパック」構成

従来のモジュール式设计には多くのメリットがありますが、多くのトレードオフもあります。たとえば、モジュールの不活性部分(筐体、端子プレート、サイドプレート、内部コネクタ、制御装置など)は、重量を増し、貴重なスペースを占領し、最終的にパックのエネルギー密度を低下させます。さらに、多くの個別部品が設計、製造、サプライチェーンのロジスティクスを複雑さを高めています。これらの課題に対し、多くのEVメーカーやバッテリーメーカーはモジュールを完全に無くし、バッテリーを冷却プレートに直接接着しています(図3を参照)。「セルトウパック(CTP)」と呼ばれる、モジュールを使用しないこの新しいアプローチは、バッテリーセルの設計に応じて容積利用率を15~50%向上させることができると言われています[1-2]。さらに、部品点数を最大40%削減できるとされています[2]。この変化により、パックのエネルギー密度が大幅に向上するだけでなく、スペースさえあれば、比較的安価で低エネルギー密度のセルを使用するという選択肢をEVメーカーに与えることにもなります。

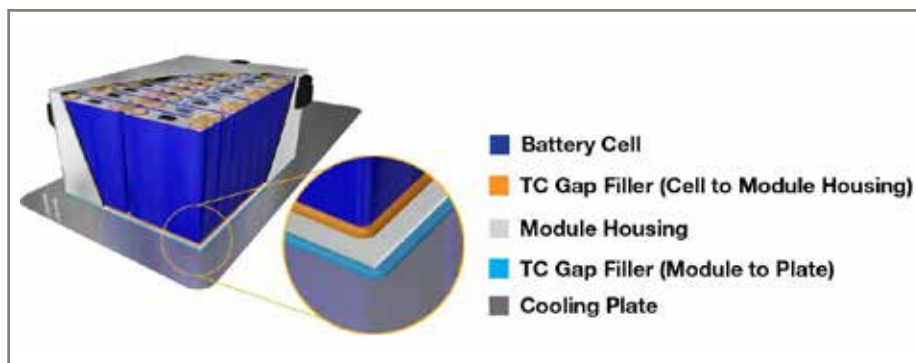


図2: 離散型モジュールに含まれる、現在の角型セルベースのバッテリーパック構成の断面図

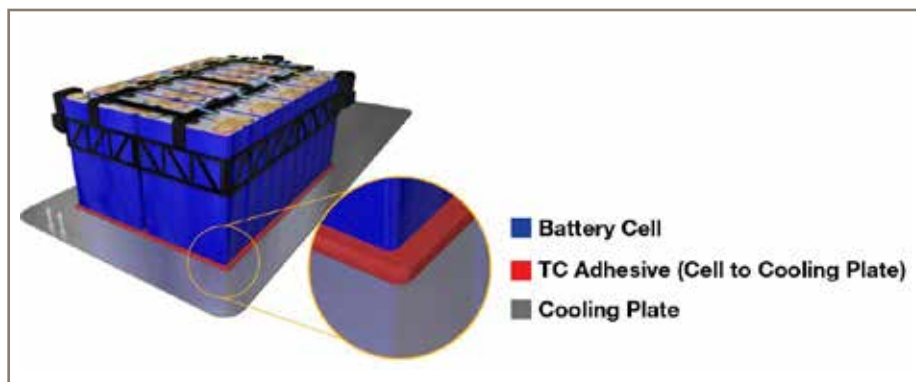


図3: モジュールフリーの次世代「セルトウパック(CTP)」バッテリーパック構成の断面図

熱管理の観点からみれば、新しいCTP設計では、熱伝導インターフェースの材料が半分(1対2)、インターフェースの数が半分(2対4)で済み、モジュール筐体が不要になります。この変化により、スタックの熱抵抗が大幅に減少し、冷却プレートによる冷却(または加熱)負荷が軽減され、より低い伝導性ギャップフィラーの使用が可能になります。一方で、この変更により、バッテリーを環境から保護するモジュール筐体がなくなったため、耐環境性能や機械的性能の要件が厳しくなりました。例えば、多くのOEMが、85°C、85%相対湿度(RH)で1000時間(6週間)エージングした後でも、ポリエチレンテレフタレート(PET)で覆われたバッテリーセルとアルミベースの冷却プレートとの間に強力な柔軟な接着を維持できる熱伝導性ギャップフィラーを求めています。このPETは、主に個々の角型セルに追加の電気絶縁層を提供してアーク放電を防ぐために使用されます。

このCTPのトレンドとそれに伴う要件に応えるため、Parker LORDは新しい接着技術を開発しています。この白書では、熱伝導性CTPウレタン接着剤の最近の開発状況を紹介します。強度、延性、配合の多用途性のバランスが取れている、2液型ウレタン化学物質が選ばれました。特に、環境経年変化を考慮したPET樹脂やアルミ基材に対する接着性能に注意が払われています。従来のウレタンとの比較も行われています。レオロジー(流動学)、密度、伝導性、バルクの機械的特性など、その他の特性についても短く論じています。

## 実験

公称熱伝導率が1.5W/m・Kの2液型TCウレタンを、CTM用途向けに設計された従来の化学構造と、CTP用途向けの新しい化学構造に基づいて調査しました。本文書では、これらの製剤をそれぞれ「従来のCTMギャップファイラー」と「CTP接着剤」と呼びます。幅25.4mm、厚さ0.8mm、6061-T6アルミニウム (Al) 基材、および市販EV用途の厚さ75ミクロンの透明PETフィルムを使用して、ASTM D1002に準拠した重ね剪断接着試験を実施しました。重複部分の長さとして接着ボンドライン厚は、それぞれ12.7mmと0.3mmに設定しました。図4(a)および(b)は、標準的なAl-接着剤-Al (Al-Alとも表記) 試験片と、ボンドライン中央にPETを使用した試験片 (Al-PET-Alとも表記) の断面図を示しています。試験片は、接着剤を塗布する前にインプロパノールとリントフリーの布で清掃しました。接着剤をカートリッジから吐出し、室温で組み立てました。完全硬化に至る時間を早めるため、室温で機械的試験を行う前に、試験片を50°Cで24時間(室温では7日間)硬化させました。インストロン万能試験機を使用し、5mm/分の速度で重ね剪断強度試験を行いました。また、JEDEC規格JESD22-A101Dに準拠し、CSZ ZP-8環境試験室を使用して85°C/85% RHで最大1000時間試験片のエージングしました。接着試験に加えて、ASTMまたはISO標準試験法に従い、CTP接着剤のバルク特性を測定しました(表1参照)。

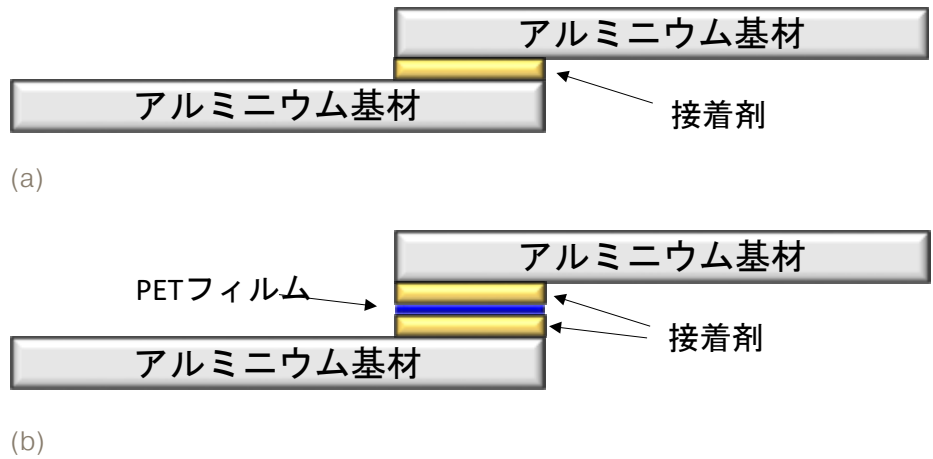


図4: (a) Al-Alおよび (b) Al-PET-Al被着材に基づく重ね剪断試験片の断面図

## 結果および考察

上述の通り、かつて保護を提供していたモジュール筐体がないため、新しいCTP設計では、より厳格な環境試験条件で良好な接着性を維持する接着剤が必要とされています。CTP/バック設計者が、85°C、85% RHで1000時間暴露した後に、6MPaを越える重ね剪断強度レベルを要求するのは珍しいことではありません。従来、ウレタン系接着剤は、85°C、85% RHで長時間暴露した後、特にプラスチックとアルミ基材に対して高い接着性を維持することはしばしば困難でした。熱伝導性の高いファイラーを含む接着剤は、さらに大きな課題となります。

当社ラボでの独自の調査開発により、長時間の環境エージング後でも注目値を得ることができました。図5は、1.5 W/m KのCTMギャップファイラーと新しいCTP接着剤を使用し、85°C / 85% RHで、Al-Al基材の重ね剪断強度 (LSS) を時間の関数としてプロットしたものです。0時間と1000時間の環境エージングを行い、引き抜いた試験片の対応写真を図6に示します。従来のCTMギャップファイラーは、わずか336時間(2週間)のエージングでLSSが80%低下し、1000時間(6週間)後にはさらに低下しました。この大幅な低下は第一に界面接着性の喪失が原因で、図6(a)に見られる、接着/凝集破壊の混在から全体的な接着破壊への移行に反映されています。新しいCTP接着剤は、加速エージング試験全体を通して、10MPaを超える高レベルのAl-Al接着性を示しています。さらに、図6(b)に示すように、この接着剤は1000時間のエージング後でも凝集破壊を示しています。

表1: CTP接着剤で試験したバルク特性および使用された対応する試験方法

特性	使用したASTMまたはISO試験方法
粘性	ASTM D2556
熱伝導率 (W/m・K)	ISO 22007-2
最大引張強度 (MPa)	ASTM D638
破断伸度 (%)	ASTM D638
誘電率	ASTM D150

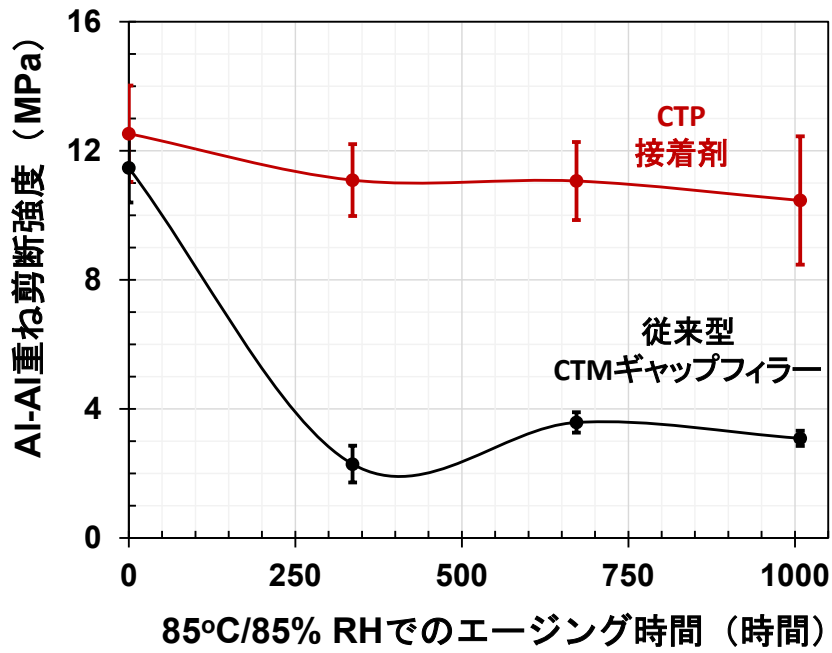
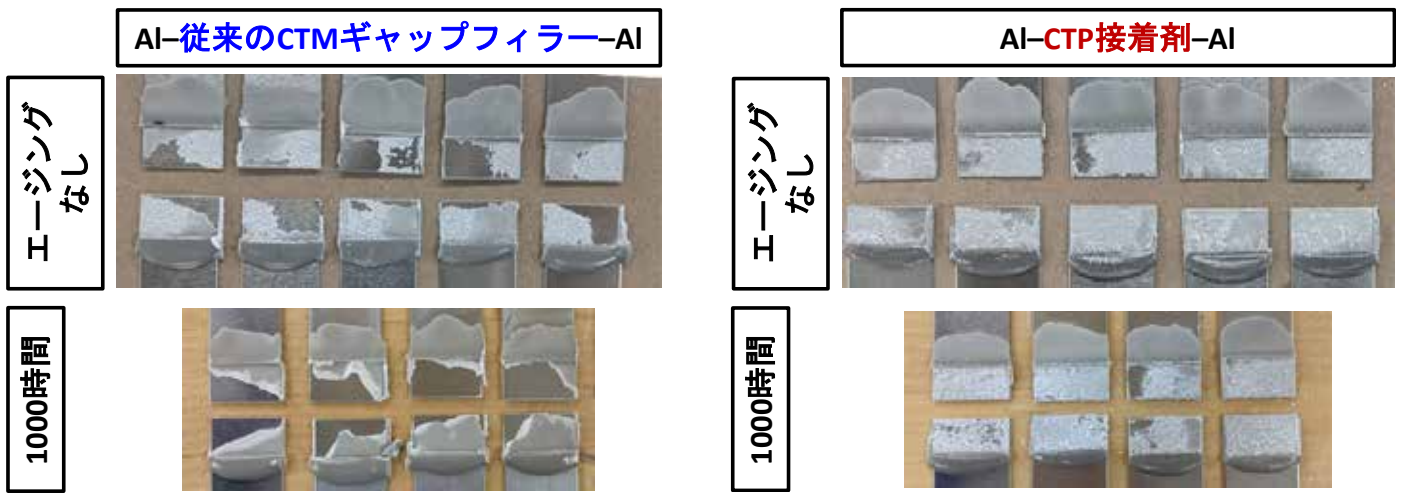


図5: AI-AI基材に基づく試験片での、従来のCTMギャップフィラーおよび新しいCTP接着剤の重ね剪断強度に対するエージング時間の影響



(a)

(b)

図6: (a)従来のCTMギャップフィラーと(b)新しいCTP接着剤の、AI-AI LSS試験片の破壊モードの写真(機械的試験の前に85°C / 85% RHで0~1000時間エージング)

また、ハイブリッドのAl-PET-Al基材を用いて、PETで覆われたバッテリーセルとその下にあるアルミニウム冷却プレートとの接合を模した実験も行われました。図7および図8は、それぞれLSSの結果と破壊表面の例で、85°C/85% RHでの時間との相関関係を示しています。これまでAl-Al基材で見られた通り、従来のCTMギャップフィラーのLSSは時間の経過とともに急速に低下しています。強度レベルは対応するAl-Al値と同程度であり、初期破壊は接着剤とAlおよび接着剤とPETの破壊の混合で、エージング後はAl上の完全な接着破壊へと移行します。これらの結果から、高温多湿の環境下では、CTMギャップフィラーはアルミニウムに対する十分な強度を維持できないことは明らかです。しかし、Al-PET-Al上のCTP接着剤は、85°C/85% RHのエージング後も強固な接着性を示しています。重ね剪断強度は、図7に示した通り、時間と共にわずかに低下しますが、7 MPa超の値を維持しています。この破壊モードは、PET-接着剤境界面でのPET基材の破壊と接着破壊が混在しています。

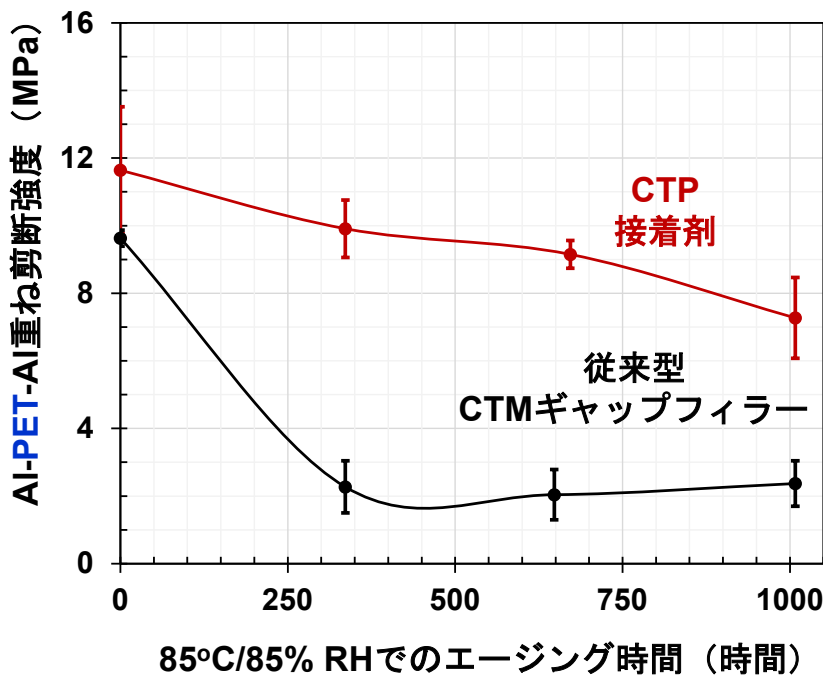


図7: AI-PET-Al基材に基づく試験片での、従来のCTMギャップフィラーおよび新しいCTP接着剤の重ね剪断強度に対するエージング時間の影響

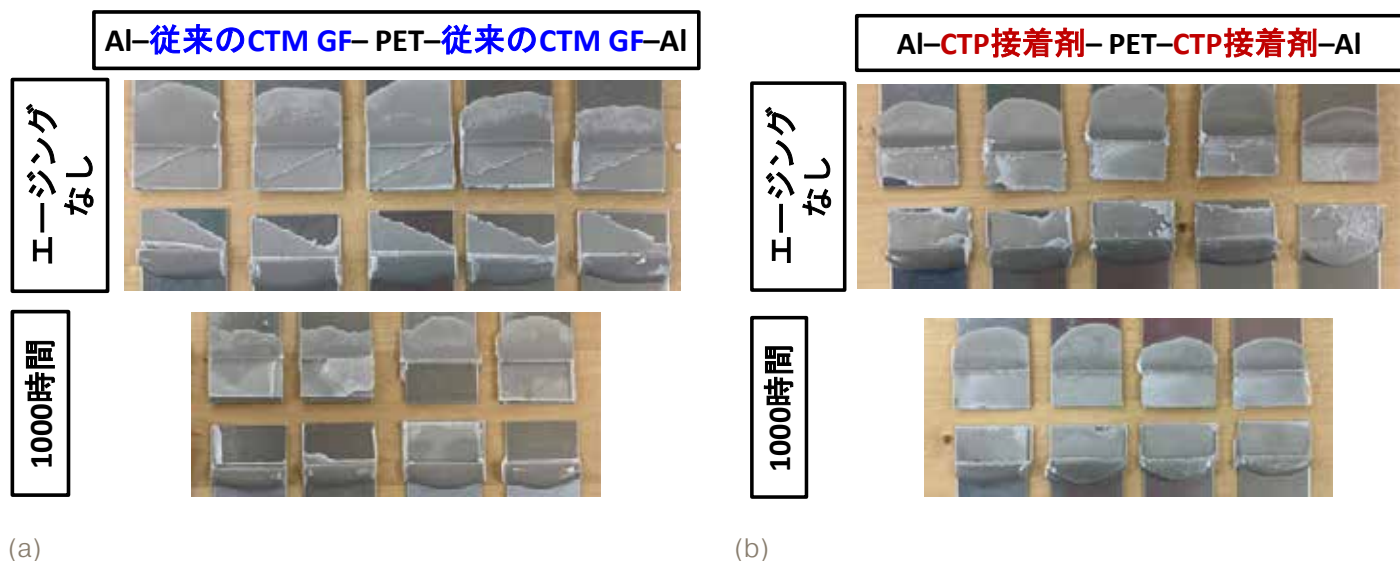


図8: (a) 従来のCTMギャップフィラー(GF) (b) 新しいCTP接着剤(Adh)の、Al-PET-Al LSS試験片の破壊モードの写真 (機械的試験の前に85°C / 85% RHで0~1000時間エージング)

接着性能に加え、表2と図9に示す通り、重要なバルク特性も新しいCTP接着剤の特徴です。Parker LORDの新しいCTP接着剤は、製造を容易にするために必要なレオロジー（流動学）、車両の軽量化のための低密度、効果的なバッテリー熱管理のための良好な熱伝導性、機械的負荷に対応するための強力なバルク特性、電荷の蓄積を防ぐための低誘電率のバランスを実現できます（図9参照）。表2および図9の値は、新しいCTP接着剤技術が提供できる特性の組み合わせの一例であることを強調しておきます。当社の科学者とエンジニアは、特定のCTP用途の要件に合わせて、CTP接着剤性能を調整可能です。

### 結論

厳しい環境条件下でPETプラスチックとアルミニウムを直接接着できるよう、新たな発展的熱伝導性接着剤が設計されました。「セルトゥモジュール（CTM）」ギャップフィラーとは異なり、この新しい「セルトゥパック（CTP）」接着剤は、85°C、85% RHで1000時間（6週間）エージングした後も高レベルの接着性を維持しつつ、高い熱伝導性を実現できます。このような特性は、低密度、流動特性、低誘電率と相まって、バッテリーやEVメーカーが、新しい「セルトゥパック（CTP）」バッテリーの設計において、より高いパックエネルギー密度と製造コストの削減を実現するための鍵となります。

表2: 新しいCTP接着剤のバルク特性

特性	値
0.5および5 s <sup>-1</sup> (Pa·s)、25°Cでの樹脂粘度	385,154
0.5および5 s <sup>-1</sup> (Pa·s)、25°Cでの硬化剤粘度	169,48
混合比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.9
熱伝導率 (W/m·K)	1.6
最大引張強度 (MPa)	11.6
破断伸度 (%)	12

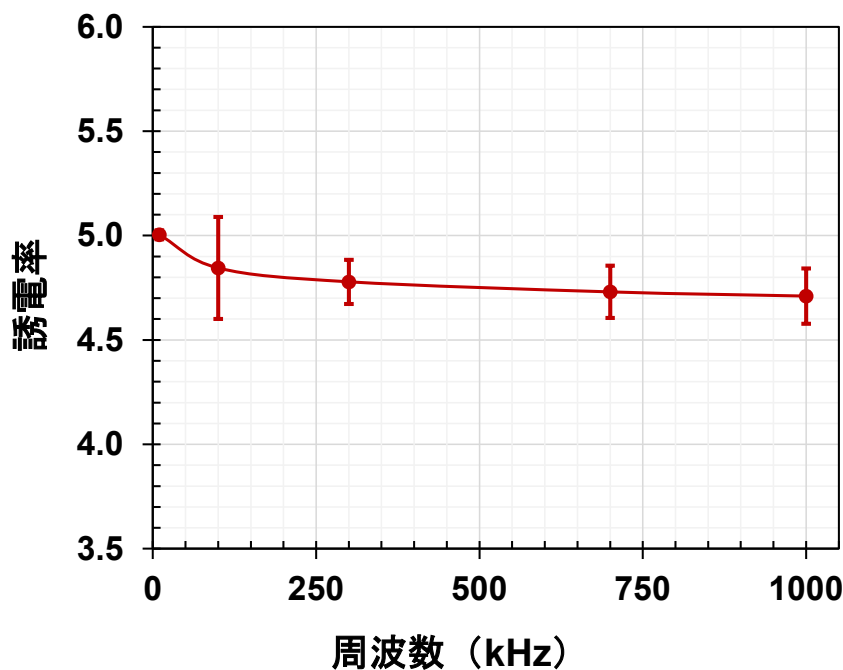


図9: 試験周波数が新しいCTP接着剤の誘電率に及ぼす影響

## 参考資料

1. “The Next-Generation Battery Pack Design: from the BYD Blade Cell to Module-Free Battery Pack,” BatteryBits, online article, October 2020, <https://medium.com/batterybits/the-next-generation-battery-pack-design-from-the-byd-blade-cell-to-module-free-battery-pack-2b507d4746d1>
2. CATL Innovative Technology website URL: <https://www.catl.com/en/research/technology/>
3. “CATL Hints At Cell-To-Chassis EV Batteries For 500+ Miles Of Range,” InsideEVs, online article, Aug 2020, URL: <https://insideevs.com/news/438849/catl-cell-to-chassis-batteries-more-range/>
4. “Building better batteries: Insights on chemistry and design from China,” McKinsey & Company, online article, April 2021, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/building-better-batteries-insights-on-chemistry-and-design-from-china#>
5. Parker LORD “CoolTherm® Thermal Management Materials” website URL: <https://www.lord.com/products-and-solutions/electronic-materials/thermal-management-materials>
6. Parker LORD Electronics Online Blog, “How to Choose and Use Thermal Gap Fillers”, URL: <https://www.lord.com/blog/electronics/how-to-choose-and-use-thermal-gap-fillers>
7. “Liquid-Dispense Gap Fillers versus Thermal Pads: A Case Study on Thermal Performance,” Tim Fornes, Eric Wyman, and Alaina Hull, Parker LORD White Paper (LL3248, 2018) URL: [https://files.lord.com/pdf/44/LL3248\\_GapFillersvsThermalPads.pdf](https://files.lord.com/pdf/44/LL3248_GapFillersvsThermalPads.pdf)
8. “Battery Cooling Performance Comparing Liquid-Dispense Gap Fillers with Thermal Pads White Paper,” Daniel Barber, Eric Wyman, Parker LORD White Paper (LL3250, 2019) URL: [https://files.lord.com/pdf/44/LL3250\\_BatteryCoolingPerformance.pdf](https://files.lord.com/pdf/44/LL3250_BatteryCoolingPerformance.pdf)
9. “The Right Amount of Stress: Reworkability of Gap Fillers in EV Battery Packs,” Anu Tripathi, Parker LORD White Paper (LL3251, 2020) URL: [https://files.lord.com/pdf/44/LL3251\\_ReworkabilityofGapFillers.pdf](https://files.lord.com/pdf/44/LL3251_ReworkabilityofGapFillers.pdf)



Parker LORD  
エンジニアード マテリアルズ グループ

111 LORD Drive  
Cary, NC 27511-7923  
USA

[www.lord.com](http://www.lord.com)

ロード・ジャパン・インク  
〒140-0002

東京都品川区東品川2-3-14  
東京フロントテラス16階

03-4212-3911 (代)  
NVH092GAInfoJapan@parker.com  
[www.lord.com/japan](http://www.lord.com/japan)