

molex

レポート

# 限界を突破する： 堅牢化と小型化を両立した コネクタ設計

2024年7月





# 目次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| はじめに .....                             | 03 |
| 堅牢化と小型化の合流 .....                       | 04 |
| 新たな展望を定義する：小型化・堅牢化されたコネクターの優位性 .....   | 09 |
| 小型化と堅牢化のために必要不可欠な要素：環境が与える問題と解決策 ..... | 14 |
| 小型化された堅牢なコネクターの未来 .....                | 19 |
| モレックス：さらにつながる世界の構築 .....               | 22 |



## はじめに

エレクトロニクス産業は長年、耐久性と小型化とのトレードオフの壁をなくすことに取り組んできました。過酷な環境に耐えられるように設計され、堅牢化されたコンポーネントは、保護を強化するためにかさばり、重くなりがちです。逆に、小型化されたものは、そのコンパクトなフォームファクターが評価されるものの、ややデリケートで堅牢性に欠ける場合があります。

両方の利点を併せ持つことはできないのでしょうか。

私たちは今、転換期を迎えています。高度な材料科学、革新的な設計技術、そして製造プロセスの進化により、新世代コネクタが台頭する舞台が整い始めています。これらのコネクタは、従来のトレードオフに反し、優れた耐久性とコンパクトなサイズの両方を併せ持ちます。

自動車産業から生まれた、よりスペース効率の高い相互接続製品です。これらは、過酷な使用条件に耐え、数々の最新エレクトロニクス機能を搭載した自動車のニーズに応えるものです。この統合は現在、他の産業にも変革をもたらし、最も厳しい環境でも優れた性能を発揮する、より小型で軽量かつ信頼性の高い製品の開発を可能にしています。

堅牢化された小型コネクタは、どのように電子機器の将来の展望に貢献するのでしょうか。さらに見ていきましょう。





## 堅牢化と小型化の合流

各業界の設計エンジニアは、頑丈なコンポーネントはかさばるものだという考えを今だに持っているかも知れません。これまで、堅牢な電子部品はフォームファクターが大きく、小型の部品は壊れやすい場合があると認識されてきました。では、小ささと頑丈さがどのように統合されたかを理解するために、自動車産業からその起源を探ってみましょう。

### 自動車革命

「必要は発明の母」であることは、今も昔も変わりません。20世紀後半、アンチロックブレーキ、電子制御式の燃料噴射、初期のインフォテインメントシステムなどの機能が導入されました。このようなエレクトロニクス機能の需要が高まるにつれ、より小型で信頼性の高いコネクタの必要性も高まったのです。しかし、初期の小型コネクタへの試みとして開発されたコンポーネントは、過酷な自動車の環境に必要な堅牢性を備えるものではありませんでした。このため、厳しい環境条件に耐える堅牢な小型コネクタの開発に向けて、メーカーは技術革新に力を注ぎました。





## 動くデータセンター

ハイブリッド車 (HEV) や電気自動車 (EV) の普及は、小型で耐久性に優れたコネクターの必要性をさらに高めました。現在、自動車にはより多くの電子システムが導入されるようになり、信頼性が高く省スペースをもたらすコンポーネントへの需要は高まる一方です。平均的な車に使用されている配線の総延長は約1.6km (1マイル)、その総重量は45kg (100lb) を超えます。

最新の自動車にはさらに数々のセンサー、カメラ、通信システムが搭載されており、スペースの制約があっても使用可能な、高性能の相互接続製品が必要です。

これらの自動車の進歩はすべて、今日、私たちが目にする小型で堅牢なコネクターの基礎を築きました。そして、これらのコネクターは自動車・運輸分野にとどまらず、幅広い産業で応用されています。



## 広がる視野

自動車産業から始まった堅牢化と小型化のトレンドは、今や家電やIoT機器、産業機械やスマート農業に至るまで、さまざまな産業に浸透しています。既製コンポーネントとして入手可能となった小型で堅牢なハードウェアの幅広いセレクションは、設計エンジニアに大きな転機を与え、次のようなアプリケーションで重要な機能を果たしています。



### 家電製品

- **フィットネストラッカーおよびスマートウォッチ**

これらの軽量で高機能なデバイスでは、日常生活での使用に伴う汗や水、衝撃に強くなければなりません。

- **アクションカメラ**

高密度のアクションカメラでは、激しいアクティビティ中にも内部コンポーネントを保護し、シグナルインテグリティを維持して電力を供給しなければなりません。

- **スマートホーム機器**

スマートサーモスタットやスマートインターホンでは、小型コネクターのおかげで設置面積を最小限に抑えることができました。また、小型コネクターは、屋内外を問わず、信頼性の高いデバイス操作を可能にする高い耐久性を提供します。





## 医療機器

- **内視鏡**  
これらのデバイスでは、手術時の最適な画質とデバイス機能を維持します。
- **インスリンポンプ**  
内部コンポーネント間の強固な接続により、正確で中断のないインスリン送達が可能になります。
- **ウェアラブルヘルスマニター**  
センサーを汗や動きから保護し、同時に、快適かつ目立たないように接続しなければなりません。



## 産業用オートメーション

- **ヒューマンマシンインターフェース (HMI)**  
タッチパネルやタッチボタンでは、過酷な工場環境においても、信頼のおける操作性を提供します。
- **産業用ロボット**  
要求の厳しい産業現場で動作するロボットアームに、電力とデータを確実に伝送します。
- **センサー**  
ホコリや振動、極端な温度にさらされても、センサーが正確にデータを収集し続けるのを助けます。







## ドローン / 航空機器

- **電動垂直離着陸機 (eVTOLs)**

低空飛行時の要素や条件に影響を受けず、重要な飛行システムが信頼性の高い電力と信号伝送を受けるのを助けます。

- **地図作成および測量用ドローン**

コンパクト設計でありながら高出力のLiDARとカメラ装置が適切に機能し、正確なデータ収集を実現します。

- **配達用ドローン**

ドローンは過酷な配送業務への耐久性を持ち、ペイロードの安全と信頼性の高い航行および通信を確保しなければなりません。



## スマート農業

- **垂直農法システム**

センサーと照明が密集して設置されており、湿度の高い環境でも長期的な信頼性を維持します。

- **農作物監視用ドローン**

ドローンの最適なデータ収集を助けるために、飛行中には浸入や振動から保護します。

- **土壌水分センサー**

湿気、圧力、衝撃への耐久性を持つ埋設型センサーが、信頼性の高いデータ伝送を実現します。



## 堅牢化と小型化の範囲の拡大

コンパクトで耐久性のあるコンポーネントの可能性はまだ開拓が進んでおらず、実現に至っていません。堅牢で小型の部品は、空飛ぶトラクター、eVTOL航空機、垂直農法、宇宙探査、航空宇宙・防衛アプリケーション、ウェアラブル技術、遠隔気象観測所など、新興分野および拡大分野のさらなる進歩につながるかもしれません。

## 堅牢化と小型化に依存するエマージングテクノロジー

広く採用されれば、スマート農業や輸送の将来を左右する可能性のある、急成長中の航空技術の2つの例を少し考えてみましょう。

### 空飛ぶトラクター

スマート農業では、「空飛ぶトラクター」（または農業用ドローン）の出現は、私たちが知っている農業を再定義する可能性があります。これらの無人航空機（UAV）は、作物のモニタリング、散布、データ収集などの精密農業に関する作業を実行します。そのため、空飛ぶトラクターには小さくて丈夫なコネクタが必要です。

農業用ドローンは離陸時や乱気流での飛行で揺れを経験するため、コネクタには振動や衝撃に対する高い耐性が求められます。屋外作業用の空飛ぶトラクターに使用されるコネクタは、ホコリ、湿気、極端な気温、農薬や肥料などの腐食性化学物質といった、農業用途特有の過酷な環境にさらされます。また、農業用ドローンは、ナビゲーション、制御、データ収集のためにリアルタイムのデータ伝送が必要です。農家がリアルタイムで情報に基づいた判断を下せるよう、このような要件には、高帯域幅で信号損失の少ない小型コネクタが必要です。

## 電動垂直離着陸機（eVTOLs）

乗り越えなければならない規制上のハードルはありますが、人間を快適に輸送できるドローンを想像してみてください。空飛ぶクルマに最も近い存在として言及されることもあるeVTOLは、パーソナルモビリティに大きな飛躍をもたらす可能性があります。電気推進システムを動力源とするこれらの画期的な航空機は、自律飛行タクシーや空中ライドシェアとして普及する可能性を秘めています。

eVTOLの基盤技術が都市部エアモビリティの可能性を最大限に引き出せるかどうかは、堅牢な小型コネクタの存在にかかっています。電気推進システムは、より静かでクリーンな運転が期待できる反面、飛行に必要なバッテリーは重いため、重量面で大きな課題があります。この制約は、厳しい安全規制と相まって、軽量でありながら耐久性のあるコンポーネントの強い必要性を示しています。コンパクトで堅牢な材料で作られた小型コネクタは、航空機の総重量の軽減に貢献し、航続距離と効率を最大化し、低空飛行時にも重要なシステムを確実に作動させることで、これらのニーズに対応します。このレジリエンスはeVTOLの安全性と経済的実行可能性にとって極めて重要であり、eVTOLへの多大な投資を確保する要件です。eVTOL企業は、積載量を増やすことで、潜在的な顧客ベースを拡大することができます。

もはや、エンジニアは「堅牢化」と「小型化」を相反するものと考えする必要はありません。耐久性のある小型コネクタは、新しいタイプのデバイスやシステムの構築を可能にするのです。



# 新たな展望を定義する：小型化・堅牢化されたコネクターの優位性

堅牢な小型コネクターが幅広い分野で採用されることで、業界全体における設計理念のパラダイムシフトが起こることが予見されます。小型化と堅牢化は今や相反するものではなく、新世代のコンポーネントを生み出すために統合されつつあるものです。では、具体的に、これらの革新的なコネクターは従来のコネクターとどう異なるのでしょうか。

## 両者の長所を生かす

堅牢化と小型化の長所を統合させることで、製品設計と性能の再構築が可能になります。本レポートでは、小型コネクターをピッチ2.54mm以下のコネクターと定義します。また、コネクターの堅牢性は、過酷な環境条件および機械的ストレスに耐える機能であると定義します。これらの機能には、耐震性と耐衝撃性、浸入に対する保護、耐熱性、耐食性、一般的な耐久性などが含まれます。





## スペース効率の向上

電子機器内でスペースを取らない堅牢な小型コネクタは、機器のよりコンパクトな設計と機能性の向上を可能にします。これは、サイズと重量が大きく影響するアプリケーションでは特に重要となります。コネクタの全体的な専有設置面積を縮小することで、エンジニアは、より優れた性能を発揮する、より長いバッテリー寿命の、より軽量のデバイスを設計することができます。

## 信頼性の向上

小型化された堅牢なコネクタは、衝撃、振動、極端な温度、環境ハザードに対する耐性と丈夫な構造により、過酷な環境に耐えるように設計されています。この耐久性の向上は、製品寿命の延長、メンテナンスの必要性の低減、厳しい使用条件下での信頼性の向上へとつながります。たとえば、過酷な条件下での15年の継続使用をコネクタに要求する自動車産業では、これらの堅牢なコンポーネントが故障やダウンタイムを最小限に抑え、自動車のライフサイクルを通じて一貫した性能を保証します。同様に、デバイスが絶え間ない振動や化学薬品にさらされることが多い産業環境では、耐久性の高いコネクタがシステム全体の性能を維持する上で重要な役割を果たします。

## シグナルインテグリティの最適化

堅牢な小型コネクタは、コンパクトな外見でありながら、高いシグナルインテグリティと電氣的性能を維持することができます。これは、革新的なコンタクト設計、最適化された信号ルーティング、強力な導電特性を持つ高品質な材料の使用により実現しました。さらに、これで、高レベルの電磁干渉 (EMI) や無線周波数干渉 (RFI) のある厳しい環境下においても、信頼性の高いデータ伝送、電力供給、全体的な機能性が保証されます。



## モレックスのリライアビリティ・ラボ：負荷下でのパフォーマンスの確保

モレックスの信頼性への取り組みは、設計や材料の選択にとどまりません。**モレックスのグローバル・リライアビリティ・ラボ**では、振動、温度サイクル、刺激の強い化学物質への暴露などの実際のストレス要因をシミュレートし、過酷な条件下でコネクタを厳密にテストしています。この包括的なテストにより、モレックスのコネクタは業界標準に適合するだけでなく、標準を上回ることが保証され、エンジニアは長期的な性能と信頼性に自信を持つことができます。ラボは、国際的に認められているISO/IEC 17025規格に準拠しており、お客様のプロジェクトのテストと検証に最高の品質と能力を保証します。



## 設計における柔軟性の向上

堅牢な小型コネクタによって、エンジニアは小さなスペースにより多くの特徴と機能を収められるようになりました。また新しいフォームファクターの探求が可能になり、前世代では不可能だった新製品が生み出されています。この新たに解放された設計の自由は、革新的な製品設計につながる可能性を持ちます。たとえばスマートウォッチの設計者は、現在、より多くの診断機能を一般的な腕時計サイズのパッケージに組み込み、心拍数、血圧、酸素飽和度などのバイタルサインの継続的な遠隔監視を可能にしています。

## イノベーションに伴う課題

堅牢な小型コネクタは貴重な利点を提供する一方で、次のような設計や製造上の難しさがあります：

### 材料の選択と加工

小型のフォームファクターでは、信頼性の高い信号・電力伝送を行うために必要な機械的強度と電気的特性を備えた、より軽量で小型かつ高強度のコネクタを設計することは簡単ではありません。また、材料を複雑なコネクタ形状に加工するには、多くの場合、マイクロモールディングや高精度の機械加工、レーザー溶接、部分めっきなどの特殊技術が必要になります。これらの技術により、エンジニアは小型で堅牢なコネクタに要求される複雑な形状や厳しい公差を扱って作業できるようになります。

### 熱管理

デバイスがより強力に、よりコンパクトになるにつれ、その放熱性が懸念されています。小型コネクタは表面積が小さいために効果的な放熱が難しく、性能低下やデバイスの故障につながる可能性があります。

## シグナルインテグリティとクロストーク

複数の信号線を小さなコネクタに組み込むと、クロストークや信号干渉のリスクが高まり、データエラーやシステムの不安定性を引き起こす可能性があります。デバイスの相互接続性が高まるにつれて、シグナルインテグリティの確保は信頼性にとって極めて重要となります。エンジニアは、差動信号、シールド、PCBレイアウトの最適化などの技術でこれらの問題を軽減し、コンパクトなコネクタでも高性能なデータ伝送を可能にします。

### 機械的な信頼性

ロック機構、ストレインリリーフ機能、コンタクト設計などの機能を含めることで、振動、衝撃、繰り返しの挿抜からくるストレスへの耐久性を持つよう、コネクタが最適化されます。

### 製造の複雑さ

より小型で堅牢なコネクタを製造するには、複雑なプロセス、極めて厳しい公差、特殊な設備が必要になることもあります。そのため、メーカーは入念な計画と最適化をおこなわなければなりません。

課題は残るものの、堅牢な小型コネクタの利点はすでに知られるところです。こうした課題の多くに解決策を与えるのが、材料科学の進歩です。





## 材料科学の進歩

より小型でより強靱なコネクタへのニーズの高まりに対応するため、軽量性、耐久性、導電性の理想的な組み合わせを提供する革新的な材料への注目が高まっています。

### 銅からのシフト

より軽く、より効率的な設計の必要性から、エンジニアは銅から代替材料へとシフトしています。銅は優れた導電体ですが、その重さとかさが問題となり、トレンドは「軽量化」へと移行しています。

たとえばアルミニウム合金や高剛性特殊鋼などの軽量代替材料は、コネクタ全体の重量を大幅に削減しながら、同等かそれ以上の導電性を提供します。ここでエンジニア

は、熱膨張率や耐食性、機械的特性といった要素を、銅と比較して注意深く考慮しなければなりません。選択された材料が、意図されたアプリケーションの環境ストレスや使用条件に耐えられることを確認するために、徹底的な評価を完了する必要があります。

### 高性能ポリマー素材のレジリエンス

高性能ポリマー（HPP）は、従来の材料の限界を超えた軽量構造と優れた耐久性を合わせ持ちます。これらの先進材料は、より小型で軽量なコネクタの製造を可能にするだけでなく、過酷な条件下での耐久性とレジリエンスを向上させます。

HPPは、高い引張強度、剛性、耐衝撃性などの優れた機械的特性を備えており、コネクタに物理的ストレスへの耐久性を与えます。さらに、HPPは優れた熱的安定性を誇り、幅広い温度範囲で構造的完全性と電気的性能を維持します。ポリブチレンテレフタレート（PBT）は、バランスの取れた強度、剛性、耐薬品性を持ち、コネクタのハウジングをはじめとするコンポーネントなど、多用途に使用できます。

たとえば、液晶ポリマー（LCP）は、非常に高い温度に対して卓越した耐性を示すため、自動車のエンジンルームや航空宇宙用電子機器などのアプリケーションに最適です。もうひとつの人気の高いHPPであるポリフタルアミド（PPA）は、融点が高く、吸湿性が低いことで知られています。これにより、厳しい環境下でも寸法安定性と機械的強度が得られます。



## 革新的な小型化技術

堅牢な小型化を実現するために、エンジニアは、コンパクトなサイズに妥協することなく堅牢性を実現するというユニークな難問に直面しています。この難問には創造的なアプローチが必要ですが、次のような画期的な方法が生まれています。

### 高密度ピッチレイアウト

ピッチ間隔を狭めて接触密度を高めることは、エンジニアに過密という問題を突きつけることとなります。フットプリントを小さく保ちながら機能性を向上させるというメリットは否定できませんが、その反面、接点の近さがクロストークのリスクを高め、エアフローが減少して熱密度が高くなるため、効果的な放熱が難しくなります。このような問題を軽減するため、エンジニアは高度な信号配線技術、シールドや絶縁方法、さらにヒートシンクやサーマルビアなどの熱管理戦略で対応します。

また、高密度ピッチレイアウトは、製造と組み立てに高い精度が要求されます。しかし、これらの課題が克服されれば、シグナルインテグリティの向上、信号損失の低減、そして場合によっては消費電力の低減を実現することができます。

### マルチファンクションターミナル (MFT)

汎用性をますます拡大しているマルチファンクションターミナル (MFT) は、小型化コネクタ技術の大きな飛躍を象徴しています。電源、信号、さらにはロック機構のような機械的特性など、複数の機能を単一のコンパクトなユニットに統合しているため、MFTは複数のコネクタを必要としません。これによりデバイス設計が合理化され、コンポーネント数が削減されます。MFTの設計が進化するにつれ、これらのコンポーネントがさらに多くの機能を統合し、コネクタ設計の限界を押し広げると期待されています。

## 小型プリント回路基板 (PCB) コネクター

非常に小さなフットプリントとファインピッチコンタクトを特徴とする小型PCBコネクターは、デバイスのフットプリントの縮小と機能性の向上に貢献します。また、PCBの小型化を可能にし、現代の電子機器の複雑な中枢を作り出しています。

超小型のPCBコネクターを作り出すには高度なコンタクト設計と材料が必要です。熱膨張や熱収縮があっても安定した接触力を維持するため、バネ式接点を使用した設計もあります。また、抵抗や信号の損失を最小限に抑えるために、金やパラジウムのような導電性の高い材料を使用するコネクターもあります。システム全体の重量と消費電力の低減に貢献する小型PCBコネクターは、携帯機器や電池式のデバイスに理想的です。

サイズと耐久性の間にある本質的なトレードオフを克服し、コンパクトでレジリエンスのあるコンポーネントを作り出すという堅牢な小型コネクタ技術の進歩は、エンジニアリングの創意工夫の証です。この継続的な進化は、業界を超えた電子機器イノベーションの新たな可能性を約束するものです。



## 小型化と堅牢化のために必要不可欠な要素：環境が与える問題と解決策

小型化された堅牢なコネクタは、幅広い産業分野でのイノベーションを可能にしています。しかし、このような多様なアプリケーションで信頼できる性能を確保するためには、使用されるコネクタがさまざまな環境ハザードに耐えうように設計されていなければなりません。小型化されたコンポーネントはサイズおよび質量が小さいため、環境要因によるダメージを受けやすくなります。この脆弱性は、信頼性と機能性を維持するための堅牢化の重要性を強調するものです。

堅牢化とは、単に保護層を追加したり、コネクタのかさを増やしたりすることではなく、設計および材料の選択から製造およびテストに至るまで、コンポーネントのライフサイクル全般を視野に入れた全体的なアプローチでもあります。このセクションでは、コンポーネントの信頼性が環境要因によってどのように損われる可能性があるのか、そして、過酷な条件下で最適な性能を発揮するコネクタを開発するためにエンジニアが採用している戦略について説明します。







モレックスの**Micro-Lock Plusコネクタ**は、高振動環境でも確実に嵌合し、不意の脱落を防止する堅牢なポジティブロック機構により、振動に関する問題に対処します。さらに、このコネクタの金属のはんだタブは、はんだ接合部にストレインリリーフ機能を加え、機械的ストレスや振動に対する耐性を高めています。

## 振動

電子機器はぶつけられたり、揺さぶられたりすることがあります。工場現場であれ、航空宇宙アプリケーションの高高度環境であれ、振動はデリケートな電気接続に大きなダメージを与えます。

振動の影響を軽減することは、設計エンジニアにとって非常に重要なことです。そのためには、振動の周波数、振幅、持続時間、および意図されたアプリケーション環境におけるコネクタ特有の脆弱性を深く理解する必要があります。振動の脅威に対して、小型コネクタの耐振動性を高めるためにエンジニアは以下のようなソリューションを導入しています。

- **ポジティブロック機構**

端子位置保証 (TPA) やコネクタ嵌合位置保証機構 (CPA) などの技術は、確実な嵌合を実現し、振動による不意の脱落を防止します。

- **ストレインリリーフ機能**

フレキシブルなオーバーモルディング、屈曲を制限するブーツ、フレキシブルなPCBテールなどの機能を盛り込むことで、コネクタを断線や脆弱なはんだ接合部の損傷から保護します。

- **フローティングコンタクト設計**

フローティングコンタクト設計とは、コネクタの接点がハウジング内に強く固定されていない設計のことです。その代わり、ややゆとりをもって設計されており、そのため、コネクタの接点はキャビティ内でわずかに動くことが可能です。このフローティング効果を得るためには、バネ式接点、フレキシブルコンタクトビーム、フローティングコンタクトキャリアの使用などの方法が挙げられます。



### ポッティングとカプセル化

コネクタのハウジングをエポキシ樹脂のような弾力性のある材料で充填することで振動の影響を軽減し、内部コンポーネントを保護します。このカプセル化のレイヤーは緩衝材として機能し、振動を吸収・発散させます。ポッティングはまた、外部からの環境汚染物質に対する保護バリアにもなります。

## イングレスプロテクション (IP)

湿気、ホコリ、腐食性化学物質はコネクタへ侵入しやすく、侵入すると電気接続を中断させる恐れがあります。イングレスプロテクション (IP) は、単に業界標準に準拠するだけではありません。これは、最新デバイスの機能性と信頼性に不可欠な、設計の基礎となる考慮事項です。

小型コネクタでは、IPの課題はさらに誇張されます。フォームファクターが小さく、公差がより厳しいため、エラーの余地が少なくなり、外部の汚染物質の影響を受けやすくなるためです。たった一滴の水滴やちょっとしたホコリが、腐食や短絡、ひいてはデバイスの故障につながる可能性があります。しかし、エンジニアリングの創意工夫により、設計者はこれらの要素に対して小型コネクタを強化するソリューションを開発しました。

### シールとガスケット

リング、ガスケット、その他のエラストマーシールは、外的要素の侵入を防ぐ物理的バリアを提供します。圧縮永久ひずみ（圧縮荷重を受けたシールの永久変形）や耐薬品性などの要素は、長期的な性能を保証するシールの理想的な材料に関するエンジニアの選択を助けます。しかし、シールとガスケットはすべてに対応する万能な要素ではありません。

**モレックスSqubaコネクタ**は、UL承認のIP68に準拠した防水シールにより、粉塵や長時間の水没に対する保護を強化しています。この堅牢なシーリングは、取り扱いや組み立ての際にシールを守る保護キャップと組み合わせられ、過酷な環境下でも信頼のおける性能を発揮します。







- **防水キャップとカバー**

コネクタに保護キャップやカバーを追加することで、特に保管中や取り扱い中、輸送中の浸入からの保護が可能になります。

## 極端な気温

デバイスは極端な気温にさらされることが多くなっています。自動車のエンジンルームの灼けるような高温から宇宙探査の氷点下まで、極端な温度差は電子機器の接続に大打撃を与えます。

耐熱設計は、慎重な検討と革新的なソリューションが求められる重要な課題です。熱によるストレスは、電子システムを動作不能にする多くの問題を引き起こす可能性があります。高温下では材料の劣化が加速し、プラスチックの軟化、金属の膨張、接着剤の不具合が引き起こされます。反対に、極度の低温は材料を脆くし、亀裂や破壊が引き起こされる可能性があります。このような状況で最適なパフォーマンスを発揮するための、重要な戦略をご紹介します。

- **耐熱ポリマー**

前述したように、PBT、LCP、PPAなどの材料は優れた熱的安定性を提供します。たとえば、PBTは150℃までの連続動作温度範囲を誇り、自動車のアンダーフード部品、内装部品、電気コネクタに最適な選択肢となっています。

- **低温材料**

極寒にさらされるアプリケーションでは、特定のポリウレタンやシリコンエラストマーなど、ガラス転移温度 (Tg) が低く、耐衝撃性の高い素材の方が脆くなりにくい傾向にあります。





モレックスの**DuraClikコネクタ**は、小型化と耐熱性の組み合わせの良い例で、高温PBTハウジングと①厳しい自動車環境に耐える確実な端子保持を特長としています。この堅牢な設計により、高温や振動の多い過酷なアプリケーションでも信頼のおける性能を発揮します。

- **熱管理**

その他の戦略としては、効率的な熱放散をサポートするために、ヒートシンクとサーマルビアをコネクタ付近のPCBまたはデバイス設計に組み込むことができます。これは、高出力アプリケーションや限られたエアフローしか得られない環境では特に重要です。

- **接点材料とメッキ**

金メッキとパラジウムメッキは、酸化や腐食に対して優れた耐性を持ち、高温にさらされても信頼性を保証します。高い融点と不活性な性質は、熱による劣化からベースメタルを保護する材料として理想的です。

こうした環境が与える問題に取り組むことで、エンジニアは単にリスクを軽減するだけでなく、エレクトロニクスの未来を積極的に形成しているのです。小型コネクタの堅牢化は、最も過酷な条件下で前進しようとする現代技術に力を与え続ける基本的な設計原理です。





# 小型化された堅牢なコネクタの未来

小型化と堅牢化の統合は目的地ではなく、現在進行中のジャーニーです。進化し続けるデバイスに合わせて、それを可能にするコネクタも進化しなければなりません。継続的な研究と探求は、既存の課題に対処するための進歩、そして過酷な環境における電子機器の新たな可能性につながります。デバイスの小型化、軽量化、高性能化が進むにつれ、コネクタはデバイスの信頼性、性能、長い寿命を確保する上でますます重要な役割を果たすようになるのです。

## 新たなトレンド

コネクタが物理学的に可能な限り小さくなる（かつ耐久性を持つ）のは、いつのことでしょうか。分かることは、まだその地点には到達していないということです。新たなトレンドは、よりコンパクトで信頼性が高く、機能的なコネクタの限界を押し広げ続けています。

### フレキシブルエレクトロニクス（FPCおよびFFC）

フレキシブルプリント回路（FPC）とフレキシブルフラットケーブル（FFC）は、デバイスのフォームファクターと機能を形作ります。その固有の柔軟性は、性能を損なうことなく複雑な形状に適合し、エンジニアに設計の自由をもたらします。ウェアラブル機器、フレキシブルディスプレイ、埋め込み型医療機器、ソフトロボティクスなどの可能性を開く発展です。







モレックスの**Premo-Flexフラットフレキシブルケーブル**は、スタaggerドピンとファインピッチによる革新的な設計が特長で、スペースに制約のあるアプリケーションでも回路数を増やすことを可能にします。耐久性と柔軟性に優れたPCB接続を実現するこれらのソリューションには、既製とカスタムの幅広いラインナップを用意しています。

FPCとFFCはコネクタ設計に直接組み込むことができるため、固定PCBが不要になり、外形寸法と重量が抑えられます。

### ナノテクノロジー（材料およびコーティング）

コネクタの材料を分子レベルで強化するナノスケールのコーティングは、コネクタ接点に卓越した硬度、耐摩耗性、耐食性を付与します。カーボンナノチューブやグラフェンなどのナノ材料は、優れた電気伝導性と熱伝導性を提供します。これらの材料をコネクタ設計に取り入れることで、シグナルインテグリティが向上し、より小型で効率的なコネクタが誕生します。

この可能性をさらに推し進めると、ナノ加工された材料は、微細なひび割れを自動的に修復する自己修復能力を持つ可能性があります。マイクロカプセルや血管網のような特定のナノ材料は、治癒剤を放出したり、損傷を修復する化学反応を引き起こしたりすることができるためです。







### 3Dプリンティング (積層造形)

すでに多くのカスタムコネクタプロジェクトの選択肢となっている3Dプリンティングは、堅牢な小型コネクタの設計と製造の両方を変革する可能性を秘めています。積層造形では、従来の製造方法では不可能だった複雑な形状や高度な内部構造を作り出すことができます。3Dプリンティングはオンデマンド製造を可能にし、リードタイムと在庫コストを削減します。そして、少量生産の費用と時間を削減します。さらに、3Dプリントによって新しい設計を迅速にプロトタイプ化できるため開発サイクルが加速し、エンジニアは反復作業を行ってコネクタの性能をより迅速に最適化することが可能になります。

### 市場の見通し

堅牢な小型コネクタの世界市場は、大きな成長を遂げようとしています。広範な産業におけるこれらの製品に対する需要は続いており、衰える気配がありません。Verified Market Reportsによる2024年2月の市場調査レポートでは、堅牢な、および堅牢化された小型コネクタに関する**年平均成長率 (CAGR) は安定して推移**しており、年間6%を超えるだろうと報告されています。

この需要に加え、標準化の取り組みにより、堅牢な小型コネクタの採用が加速すると予想されます。寸法、電気的特性、環境性能などの分野における業界標準の策定は、異なるコネクタシステム間の互換性にもつながります。この標準化により、設計および製造プロセスが合理化され、コネクタへのアクセスがさらに向上します。

堅牢な小型コネクタの未来は、引き続き、イノベーションを必要としています。コネクタ設計の新たな可能性を切り開く、創意工夫の継続的なサイクルが始まり、こうした新たなトレンドを受け入れることのできるエンジニアが、この流れをリードする立場となるでしょう。



## モレックス：さらにつながる世界の構築

電子コネクタの小型化と堅牢化における成功は、すでに広範な利益をもたらしています。今日の、コンパクトで耐久性のあるコンポーネントは、既存のコンポーネントを凌ぐだけでなく、デバイスの設計と機能性の大きな進歩を可能にしました。EVの複雑な電子システムから、私たちの健康をモニターするウェアラブルセンサーまで、堅牢な小型コネクタが現代技術を牽引し、産業を変革し、生活を向上させています。

モレックスは、これらの多様なアプリケーションにおける小型化された堅牢なコネクタの重要な役割を認識し、特定の業界の課題に対処するように設計されたソリューションの包括的なポートフォリオを開発しました。たとえば、**DuraClikコネクタシステム**は、高振動・高温環境下でも妥協のない性能を発揮し、過酷な条件下で動作する自動車や産業用アプリケーションに最適です。一方、モレックスの**Squbaコネクタ**は、優れた耐環境保護機能を備え、厳しい屋外条件下でも信頼性の高い動作を保証します。スペースの制約が最も重要なアプリケーションでは、**Micro-Lock Plusコネクタシステム**が、信頼性を損なうことなく、コンパクトなサイズと確実な嵌合を実現します。

コネクティビティソリューションのグローバルリーダーとして、モレックスは小型化と堅牢化の限界を押し広げることに尽力しています。モレックスはエンジニアが直面する課題を深く理解し、市場の進化するニーズに対応するため、常に最先端のテクノロジーを研究・開発しています。当社の高性能コネクタの広範なポートフォリオは、幅広いアプリケーションを網羅します。本レポートで触れた原則と新たなソリューションの適用により、モレックスは性能、信頼性、および耐久性の標準となる接続ソリューションを提供します。よりつながる未来を創造するために、ともにイノベーションを推し進めましょう。







*creating connections for life*

**molex**