

## 自動車・航空宇宙業界における軽量材料 とコンポーネント試験に関するガイドブック

最先端の落錘式衝撃試験要求事項への対応方法





## I はじめに

軽量で複合材の需要が増え続けるにつれて、設計と製造を成功させるためには、衝撃試験がますます重要になってきています。自動車や航空宇宙業界での追加された試験要件が影響し、作業工程にダウンタイムや混乱をもたらさないように締め切りに間に合わせるには、どうすればよいのでしょうか。

本書は、産業の材料エンジニアと科学者の方に向け、最先端の落錘式衝撃試験方法と技術に関しご参考となる情報を取りまとめました。これは、混乱を最小限に抑え、販売までの時間を最適化するための鍵となる、複合材や部品の試験をより簡単、迅速、確実にを行う方法に関する有益なガイダンスを提供します。

本書は、まず、自動車および航空宇宙アプリケーションに関連する複合材料業界の主要なトレンドのいくつかを分析することから始まります。次に、これらのトレンドが材料および部品の試験要件にどのように影響しているか、また、要件を十分に満たしているか確認するための主要なステップを見ていきます。





## 軽合金および複合材料: 先進トレンドと課題

軽合金や複合材料は、急速に自動車メーカーや航空宇宙メーカーにとっての材料になりつつあります。市場分析レポートによれば、今後5年間の複合材市場の成長率<sup>1</sup>は、主に自動車・航空宇宙産業からの需要の急増により、年率5%以上の成長が見込まれています<sup>2</sup>。また、2020年から2027年<sup>3</sup>の間、高性能合金の需要は年率3%以上伸び続けると予想されています。

スチールやアルミニウムのような従来の材料に比べて軽合金や複合材料の普及を高速化させるのに重要な利点となっているのは、高い耐久性や機械的性能です。<sup>4</sup>

しかし、主なUSPIは低重量であるため、現在の自動車や航空機の候補として理想的です。その主な理由は、自動車用と航空宇宙用の両方の業界において、増大する環境問題への対処を要求され、法規制を順守するためにCO2排出量の抑制に努めているからです。軽重量化を最優先する需要増加のある電気自動車も、炭素繊維などの軽複合材料への転換を牽引している。<sup>5</sup>

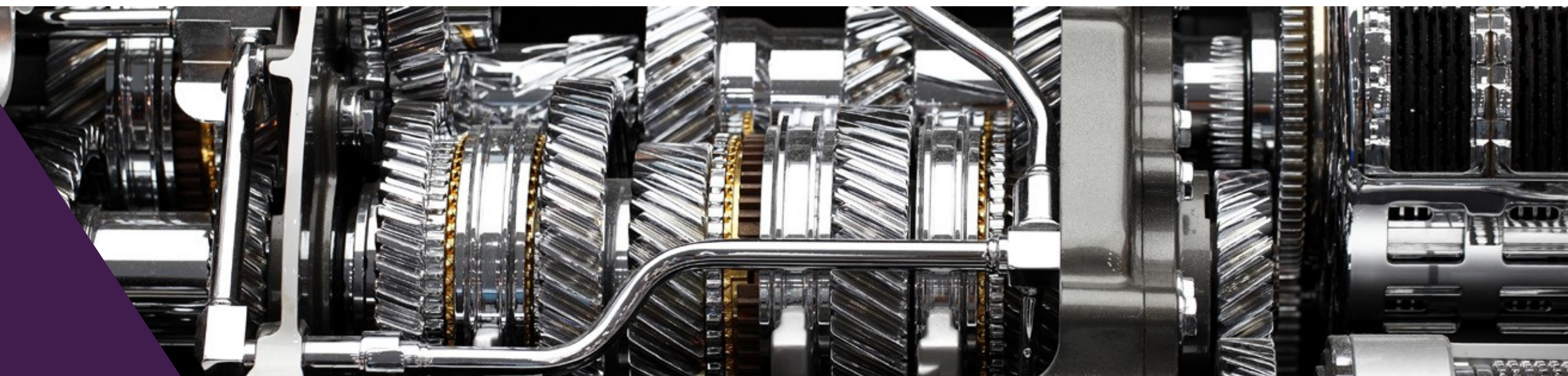
業界におけるもう一つの重要なトレンドは、3Dプリンティングへの動きです。これには、合金を製造するための複合材料および粉末ベースの添加剤製造(AM)技術を印刷するための熔融蒸着モデリング(FDM)<sup>6</sup>の展開が含まれているアナリストのFortune Business Insights<sup>7</sup>によると、航空宇宙3Dプリンティング市場は2018年の\$13億から年22%急成長すると予想されています。2026年には67億円市場報告書によれば、飛行機の重量を減らす必要性からこの市場の成長の大きな原動力となっている。しかし、COVID-19のパンデミックによる世界的なサプライチェーンの混乱によって加速されつつある、重要なコンポーネントの製造を自社内に戻す傾向も見られる<sup>8</sup>。

自動車および航空宇宙分野で使用される材料および製造方法の多様性および数量の増加は、必然的に、より厳しい試験要件に変換されている<sup>9</sup>。その主な理由は、炭素繊維やエポキシ複合材料などの材料は、貫通強度が比較的弱いため、衝撃によるダメージを受けやすくなる可能性があるためです<sup>10</sup>。また、さらに悪いことに、その損傷は、それが明確に見えなくても性能に影響を及ぼす可能性があり、<sup>11</sup>潜在的な欠陥を設計プロセスの早期に検出することを困難にします。

より高頻度で徹底した試験を行う必要性は、設計と製造ラインにおいて問題となる可能性があり、それは最終的には作業効率と生産性を妨げることにつながり、市場への提供が遅延する可能性があります。一般に、これが2つの主要因とされています。

- 試験の再現性や精度が不足し、その結果、製造ラインにダウンタイムや製品リコールにつながる問題を引き起こしかねないエラーが発生します。
- 非効率な試験工程により、不必要なダウンタイムが発生します。

ここでは、効果的な落錘式衝撃試験の導入が、これらの課題にどのように対処するのに役立つかを見ていきましょう。





## 落錘式衝撃試験とは、 どのようなもので、試験 にどのように使用できるか。

加速時に材料やコンポーネントが外部の物体に当たった場合、何が起きるのか。これは、まさに落錘式衝撃試験によって実証することができます。落下高さからおもりで材料の試験片やコンポーネントに打撃を与えることを含みます。おもりが高い位置であるほど、また重いほど、試験片に衝撃を与えるエネルギーの量が多くなります。

材料に関しては、衝撃試験は、ISO179<sup>12</sup>、12ISO6603<sup>13</sup>、13ISO8256<sup>14</sup>及びASTM3763<sup>15</sup>を含む国際規格によって定義され、それは試験構造及びパラメータと同様に試験片の材料特性を定義します。これらの試験規格は、高性能ポリマー/エンジニアリングプラスチックに関連する、新たに出現する課題と試験ニーズのいくつかを網羅しています。繊維強化ポリマーマトリクス複合材料(ASTM D7136<sup>16</sup>など)の衝撃試験に関連する規格など、より具体的な規格は、航空宇宙アプリケーションで大きな役割を果たしています。

### UL2591 standard<sup>17</sup>

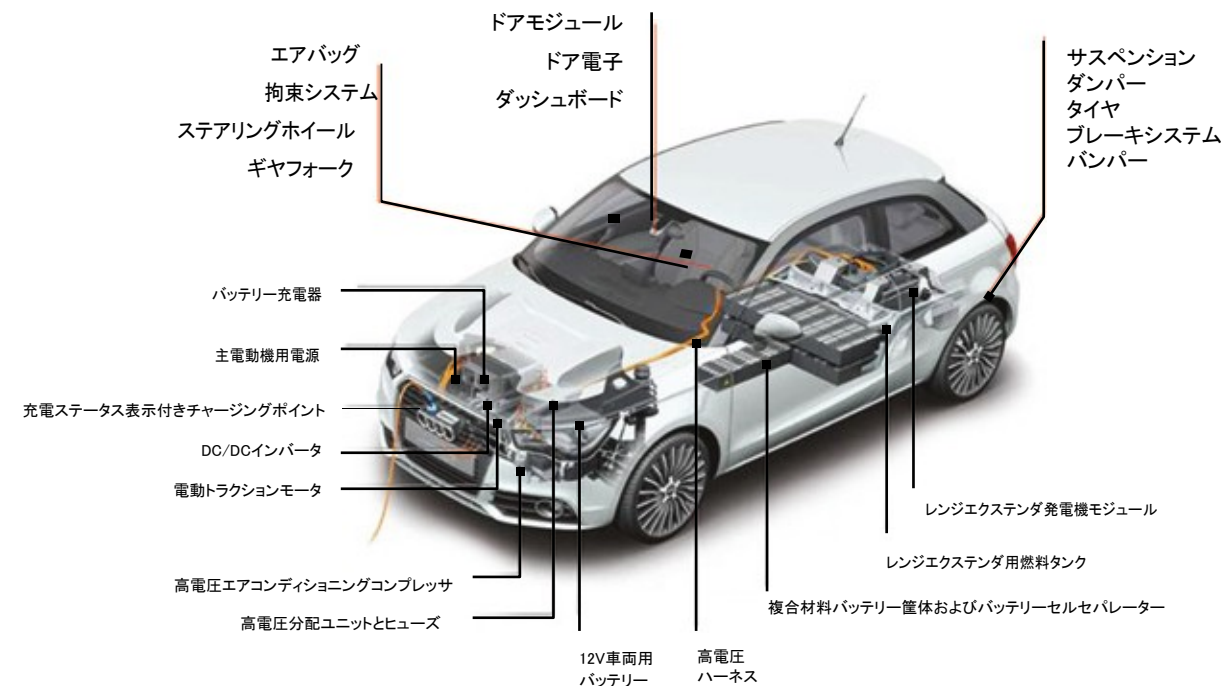
2018年には、成長し続けるインターネットモバイル市場を支えるために、バッテリーセルセパレータの新しい国際的な衝撃試験規格が導入されました。これらのコンポーネントは、リチウムイオン電池電極間に電氣的絶縁を提供する一方で、電極間に依然としてイオン移動を可能にします。規格は、これらのセパレータの評価に使用する短期試験手順を網羅しています。

自動車および航空宇宙用OEMは、多くの場合、その試験要件に国際規格だけでなく、その内部試験仕様も含まれています。

本質的に、落錘式衝撃試験の目的は、以下を確実にすることです。

- その適した材料は、自動車/航空機の最適な部分に使用されます
- 最も軽く、最も安全で、信頼性の高い設計が初めから達成されます
- すべての重要部品はそれぞれに目的、があり、乗客または自動車、歩行者の安全保護にこの場合適合します
- すべての重要部品が乗客(車両)の快適性を高めます

図1に示すように、現代の自動車のほぼすべてのコンポーネントは、通常、衝撃試験を行います。 図1: 衝撃試験が必要な車両コンポーネント





LS-DynaやAbaqusなどのCAE(Computer Aided Engineering)ツールを使用すると、エンジニアが衝撃下の材料や部品の衝撃現象をシミュレートできるようになりました。ただし、仮想試験は必ず物理的衝撃試験で検証することをお勧めします。これは、CAEベースの試験の信頼性を向上させる鍵となります

以下の表に示すように、衝撃試験はしばしば個々のコンポーネントに適応させる必要があります。

試験アプリケーション	説明	一般的な試験規格
接着剤のくさび剥離試験	被着体間の押しくさびによる動的割裂抵抗性[N/mm]	ISO11343 <sup>18</sup>
引張衝撃試験	高速引張荷重、高ひずみ速度での試験片破断に必要な荷重を測定します	ISO8256 <sup>19</sup>
打ち抜き試験	破断を決定するために垂直に試験片に当たるストライカーを使用します 材料の特性	ISO6603-2 <sup>20</sup> およびASTMD3763 <sup>21</sup>
衝撃後の圧縮(CAI)	複合材料への裸眼で見える衝撃損傷(BVID)を評価する2段階プロセス 衝撃試験は、BVIDを試験片にさせ、次いで、電気機械式試験機を用いて圧縮試験を行い、その残留強度を測定します。	ASTMD7136 <sup>22</sup>
乗員の安全性のための試験	人体の衝撃をシミュレートするために、さまざまな形のストライカーが使用されています。	社内試験規格
歩行者安全試験	室内温度(安全な試験環境)または特殊な温度制御恒温槽で衝撃を受けたバンパー	社内試験規格
自動車アクティブ・セーフティ試験	様々な環境条件下でブレーキおよびショックアブソーバー/サスペンションの機能を保証するために様々な温度で実施される試験	社内試験規格
自動車パッシブ・セーフティ試験	エアバッグカバーの性能を調べるためにさまざまな温度で行われる試験	社内試験規格

衝撃試験を実施するために、2つのタイプの試験装置を配備することが必須となります。: 自社製落下衝撃ソリューションと市販の落錘式衝撃試験機。自動車やOEMの中には、低コストのためにまだ自社製のソリューションを使用しているものもあります。しかし、自社製ソリューションは非常に高さがあり、たとえば、自動車や航空宇宙のサプライチェーンの小規模な部品メーカーにとって、ハードルが高い大規模な天井高を有するオープンスペースを必要とする場合があります。対照的に、落錘式衝撃試験機は、高さを高エネルギーシステムでデータ収集装置に置き換えます。つまり、設置面積がずっと小さく、信頼性が高く、繰り返し性のあるデータが得られます。

ここで、最先端の落錘式衝撃試験機技術のいくつかが、現在の主要な課題を克服するのにどのように役立つかを見てください。







## 試験処理能力を落とさずに試験量を上げる方法

衝撃試験を必要とする様々な多くの材料や部品が、自動車や航空宇宙アプリケーション全体でいかに増加しているかを目の当たりにしてきました。したがって、信頼性があり、繰り返し可能で、効率的な試験工程を確保することは、試験休止時間を最小限に抑えるための鍵となります。この目標を達成するためには、次の3つの重要なステップがあります。

1. セットアップの簡素化: 迅速、簡単、柔軟なセットアッププロセスが、異なる試験片を迅速かつスムーズに切り替えるための鍵となります。タップホルダー、おもり、荷重センサー(「タップ」とも呼ばれます)、およびサポートの簡単な設定を可能にする落錘式衝撃試験機ソリューションが必要です。これにより、高荷重から低荷重へ、試験片からコンポーネントの試験へ簡単に切り替えることができます。

2. データ収集をより早くしましょう: 衝撃試験ソフトウェアを落錘式衝撃試験機に統合することで、使いやすいタッチスクリーンダッシュボードを通して、最も一般的な衝撃試験シナリオをカバーする、あらかじめ設定された一連のメソッドにすぐにアクセスできるようになり、生産性を高めることができます。最新のアルゴリズムベースのソフトウェアでは、データ収集の速度も向上します。つまり、ミリ秒単位で試験結果を取得できます。

3. ヒューマンエラーの可能性を減らす: 試験が十分に正確でない場合、製造プロセスの後半まで欠陥を拾わない可能性があり、コストのかかるダウンタイムや製品リコールを引き起こすことさえあります。ユーザーフレンドリーで、段階的な説明ガイドと一体型タッチパネルなどの機能により、試験工程全体を通じてユーザーを誘導し、試験が繰り返し可能。シンプルでエラーフリーが特徴です。自動校正アラート機能は、タブが常時起動していることを確認し、不正確な結果が発生する危険性を最小限に抑えるのにも役立ちます。

### CAI試験

炭素繊維は、自動車部品や航空宇宙部品の幅広い用途に適した素晴らしい機械的特性を持っています。しかし、衝撃関連の破損に非常に敏感である可能性があります。非常に見つけにくいのがネックとなっています。

ここでCAI(衝撃後圧縮)試験を行う必要があります。落錘式衝撃試験機を使用して、かろうじて見える衝撃の破損を誘発した後、破損した試験片に対し、その残留強度を測定するための圧縮試験を行います。複合材料構造物の破損に対する抵抗は、タップ形状、衝撃おもりを含むいくつかの要因に依存します。そして、高精度が信頼のある結果をもたらし、休止時間を減らします。



## 試験を新しい材料に適應させる方法と製造方法

複合材料の採用率の増加は試験が唯一の課題ではありません。また、新しい軽量材料や製造方法の使用からくる新しい要求にも対応する必要があります。

例えば、3D織物複合材料は、その独特の性質により、様々な航空機や自動車部品の製造において一般的な材料となりつつあります。しかし、最近の研究では、製織工程で発生するわずかな変動が、物理的および機械的特性にかなりの影響を及ぼす可能性があることがわかりました。同様に、熱可塑性プラスチックのような3D印刷された材料の機械的特性は、性能に関して必ずしも一致していません。24したがって、試験は今まで以上に重要です。

ここで特に注意を払うべき要素の一つに、自動車の材料や部品に耐衝突性があり、最終的には衝撃時の乗員の保護能力を決定します。ここでの課題は、軽合金や複合材・部品が、少なくとも金属のようなより多くの従来の材料の衝突性能と同程度の性能を保証しますが、重量は大幅に低く、コストを上げることなく保証することです。これは、試験が行われる場所であり、3D印刷を含む新しい材料や部品のすべての要件が満たされていることを確認するために、いくつかのステップがあります。

- 荷重スケールの微調整:精密化が容易な荷重スケールにより、試験分解能を特定の材料/部品要件にすばやく適合させることができます。異なる荷重範囲で校正されたタップを使用することで、必要に応じて荷重スケールを精密化することができます。
- 別目線から見る:高速度カメラを落錘式衝撃試験機に統合することは、特性データを増やす効果的な方法になります。高速度カメラデータ収集が同時に行われ、荷重プロファイルと同期されるように、カメラ接続部があることを確認してください。
- 透明にする:透明パネルを選択すると、カメラを使用して任意の側面から試験を表示、記録することができます。これにより、試験片や試験メソッドを変更するたびに、機器を移動したりリセットしたりする必要がないので、時間を節約できます。

### ダッシュボード試験

昨今の自動車は、ダッシュボードは通常、エアバッグが衝撃を受けると破断するように設計されたPVCカバーを特徴としています。衝撃試験は、使用される材料のサンプルと、仕上げられたカバーそのものに対して、さまざまな温度と速度で行われます。原材料と最終製品の両方を試験することで、エンジニアは材料の選択、設計、製造プロセスの変更がカバーの衝撃性能にどのように影響するかを調べることができます。

## バーチャル試験と実際の試験を統合する

ますますCAEは、自動車および航空宇宙アプリケーションにおける衝撃試験の不可欠な部分になりつつあります。エンジニアが複数のシナリオで複数回の試験を実行できるように、プロセスをより高速かつ柔軟にできる可能性があります。また、必要な物理試験の回数や、試験片に関連する費用の削減にも役立ちます。

しかしながら、上述したように、仮想試験は実衝撃試験によって妥当性を確認すべきです。このため、この2つを統合することが、プロセス全体を可能な限りシームレスかつ正確にするための鍵となります。この目的を達成できる一つの効果的な方法は、落錘式衝撃試験機にデータの取得と解析ソフトウェアを装備することです。ここでの重要な利点は、以下の通りです。

- 上述のように、高速度のカメラを落錘式衝撃試験機に統合することで、より包括的なデータセットを取り込むことができます。
- 企業内で自動的に、または地域の安全なデータベースを介してお客様と直接的に試験を実施したすべてのメソッドと結果のトラッキングを含む生データを共有することができます。
- 物理的試験からのデータと仮想試験からのデータを比較し、異常や不整合な結果を自動的に識別することができます。このようにして、試験精度を改善し、複合材とコンポーネントの衝撃強度の予測に役立つ信頼性の高いCAEモデルを構築することができます。

## 試験を安全に行う方法

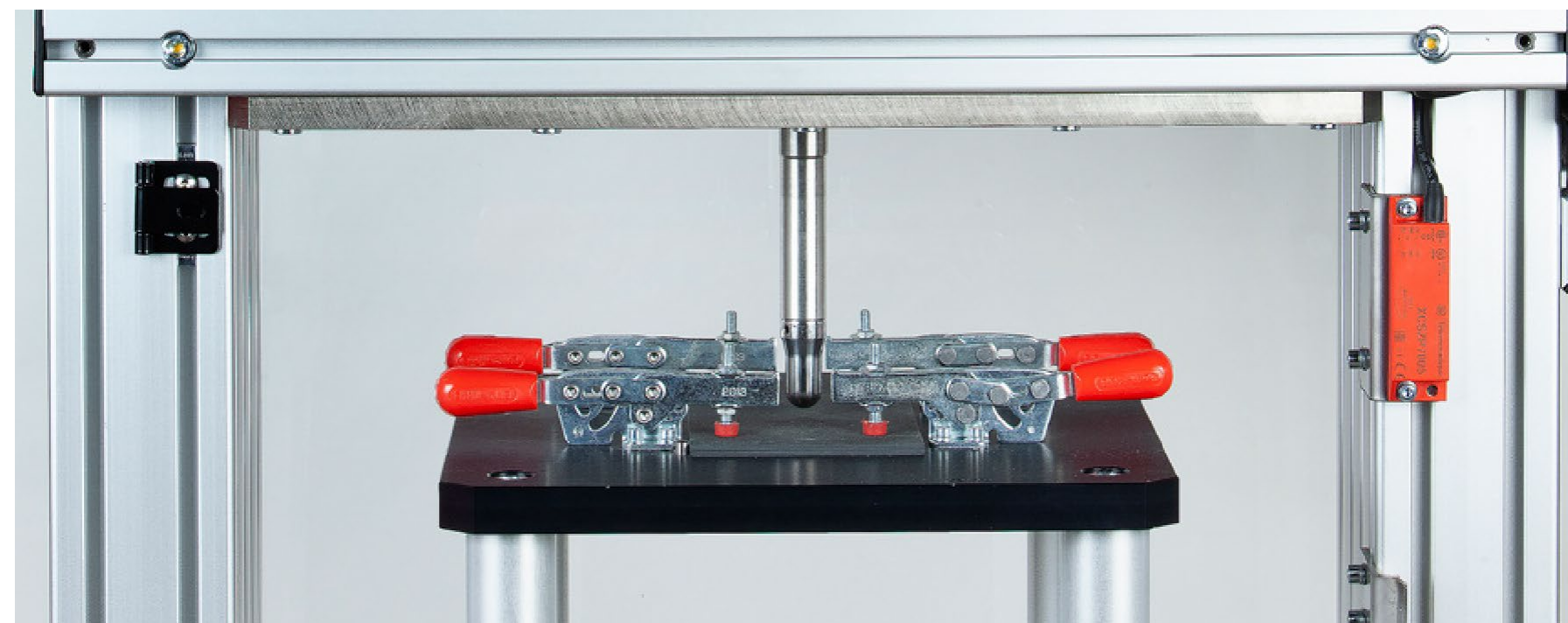
落錘式衝撃試験技術を使用する際のもう1つの重要な考慮事項は、安全性です。

体重70kgまでの衝撃おもりを含む試験条件下や、24m/秒の速度を使用する試験条件下では、衝撃による傷害から機械を操作するオペレータを保護することがなぜ最重要であるかお分かりかと思います。

その他の良くある危険状況として、有毒な煙、蒸気、または落錘式衝撃試験機ストライカーにぶつかると複合材料の試験片によって放出される粉塵に直面する可能性があります。たとえば、安全衛生による研究では、3D印刷ポリマーフィラメントが肺に入り込む可能性のある浮遊有害粒子を放出する可能性があることが分かっています。<sup>26</sup> 同様に、炭素繊維27や不飽和ポリエステル(UP)樹脂28のような材料は、労働者に有害な粉塵や蒸気をそれぞれ吸入させる危険性をもつ可能性があります。

このようなリスクから作業者を保護するために、落錘式衝撃試験機を選択してください:

- 保護用のアクリル製扉が開いているときはいつでも自動的にシステムを無効状態にする、安全回路が内蔵された完全密閉型の設計。
- 有害粒子が周囲の作業環境に放出されないようにするための、オプションの換気ファン。
- 視認できる試験機ステータス表示により、自動的に安全が保たれ、試験が進行中であることを知ることができます。



## 結論

軽量材料および複合材料は、多くの自動車および航空宇宙メーカーにとって選択される材料となりつつあり、現在では、車両および航空機が製造されるコンポーネントの多くに使用されています。本書は、効果的な落錘式衝撃試験を採用することによってのみ、可能となる追加の衝撃試験要件についてご説明いたしました。

本書には、最新の落錘式衝撃試験機技術に関する洞察が含まれており、進化する材料や部品の要件を満たすために採用いただける便利な手段を詳しく紹介しています。これらには、ユーザーフレンドリーなHMIの使用、簡素化された設定、およびデータ収集と解析ソフトウェアの使用が含まれ、設計および製造作業工程におけるエラーと休止時間を最小限に抑える、迅速で反復可能かつ信頼性の高い試験工程が保証されます。



### 著者について

落錘式衝撃試験機アプリケーション専門家の Alessandro Tomaiuolo氏は、2016年にインストロンに入社して以来、世界中の顧客に技術とアプリケーションサポートを提供してきました。

Alessandroは、「自動車産業のための高性能材料」に関してトリノ大学から材料科学分野で修士号を取得しています。



