

Carbon®

# 快適性を 実現する 設計ガイド



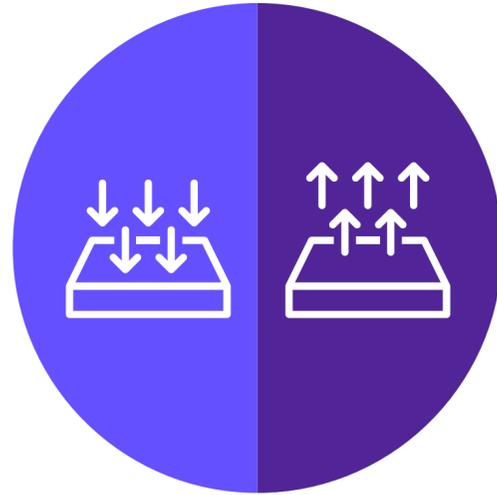
# 快適性のためにCarbonラティスを使う理由



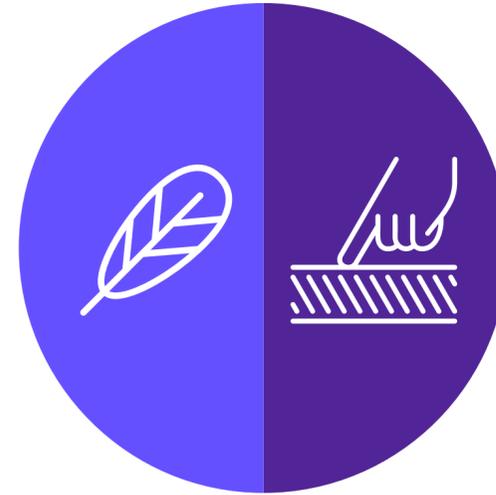
-  耐久性
-  通気性
-  エネルギー吸収/反発
-  意匠性
-  1つのパッドで異なる剛性を実現するマルチゾーンラティス
-  カスタマイズ
-  洗浄容易性と排水性
-  部品削減と組立工程の単純化

# はじめに

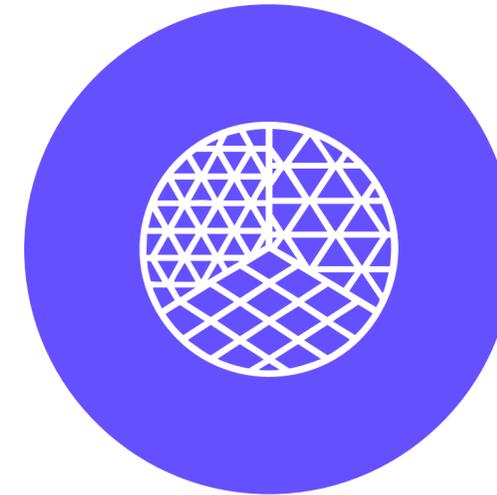
ラティスの種類や材料を選択する前に、製品の性能上の優先事項を特定しましょう。



エネルギーを吸収すべきか、  
それとも反発すべきか？



柔らかくクッション性があるべきか、  
それとも硬くサポート性があるべきか？



複数のサポートゾーン  
は必要か？



通気性や清掃のしやすさ、  
見た目のデザインはどの程度重要か？

これらの問いにあらかじめ答えておくことで、アプリケーションに最適な材料、  
ラティスの種類、設計要素の組み合わせを見極めやすくなります。

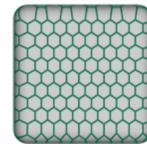
# ラティスの最終特性に影響を与える変数

ユニットセルを構成するパラメータ（ラティスの種類、セルサイズ、ストラット径）は、ラティスが量産環境でどれだけ有効に機能するかに大きく影響します。さらに、採用する材料や設計、部品形状も、ユニットセルの選択が適切かどうかに関わってきます。すべての組み合わせが部品のサイズや形状、製造可能性に適合するわけではありません。**ただし、目的とする剛性を実現できる組み合わせは複数存在するのが一般的です。**

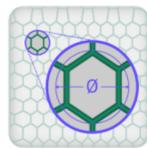
## ラティスの性能を左右する要因とは？



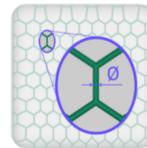
**材料**  
レジンの材料特性



**ラティスの種類**  
ラティス構造のパターン



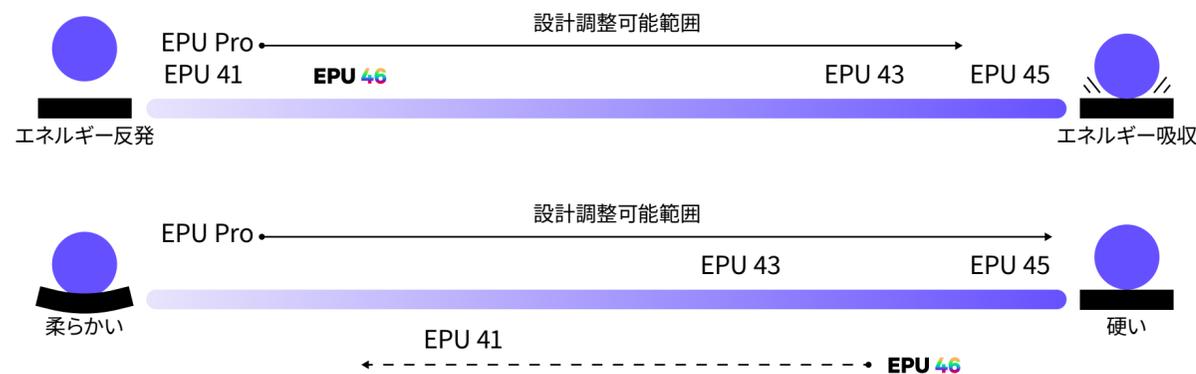
**セルサイズ**  
ラティスのスケールを定義するセルのサイズ



**ストラットの直径**  
構造を構築するストラットの直径

## 材料

Carbonは複数のエラストマー材料を提供しており、着用者が感じる衝撃を吸収して軽減することも、逆にエネルギーを反発させて推進力を与えることも可能です。[選択する材料](#)によって、製品の最終的な柔らかさや硬さの感触も変わります。さらに、最終製品の特性はラティス設計にも左右されます。



EPU ProとEPU 46はいずれも材料の剛性に柔軟性があり、優れたエネルギー吸収特性を持つ部品設計に活用できます。ただし、EPU 45と同等の減衰特性は得られません。

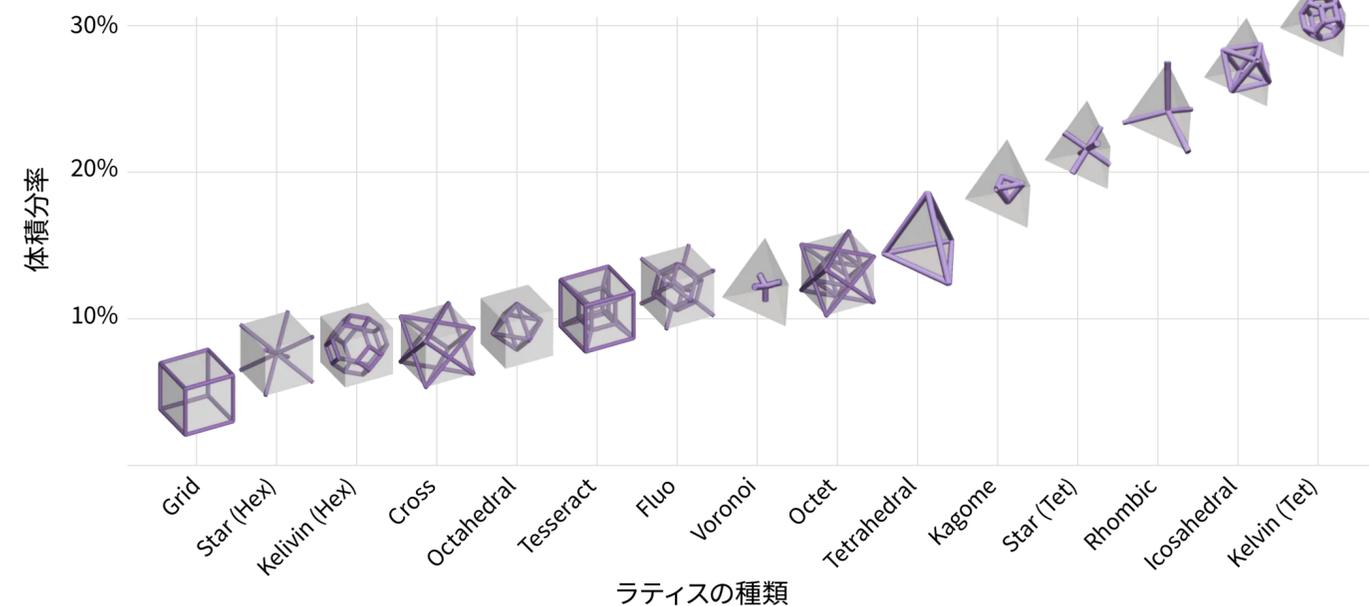
## ラティスセルの種類

ラティスの種類（パターン）は、その吸収性や弾力性に影響します。そして、利用できるラティスの種類は、基盤として選択するメッシュ構造によって異なります。Carbon Design Engineでは、ユニットセルが六面体内に収まるヘックス・メッシュ・ユニットセルと、四面体内に収まるテット・メッシュ・ユニットセルを提供しています。[どちらを選ぶか](#)は、意匠性を重視するのか、それとも性能を優先するのかが主な判断基準となります。この違いは、各メッシュにおいて多面体がどのように構成されるかに起因しています。

・**テット・メッシュ**は、個々の四面体のサイズにばらつきが少ないため、設計全体で機械的応答がより一貫しています。Carbon Design Engineでは、7種類のテット・メッシュ・ラティスの種類を利用できます。

・**ヘックス・メッシュ**は、個々の六面体のサイズや形状にばらつきが大きいいため、設計全体の機械的応答にも変動が生じやすくなります。ただし、サイズや形状が異なっても、ラティスとしては意匠的に優れ、非常に整った美しいパターンを生み出します。Carbon Design Engineでは、8種類のヘックス・メッシュ・ラティスの種類を提供しており、カスタムユニットセルの使用も可能です。

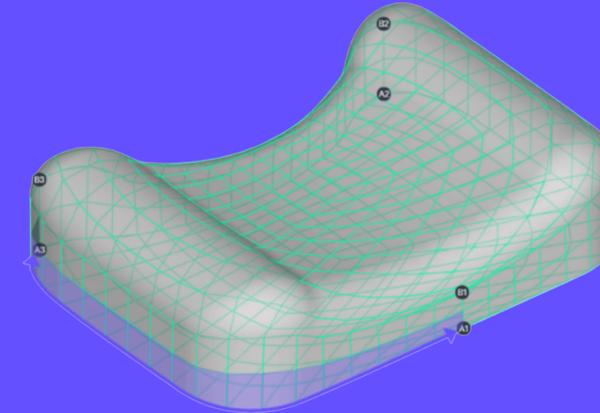
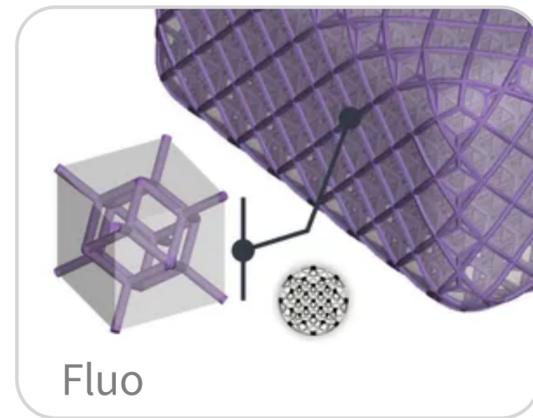
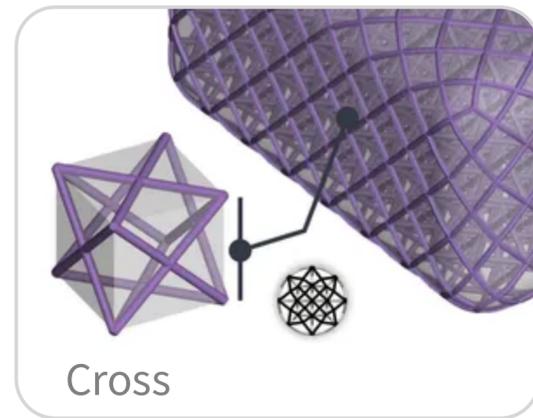
ラティスの種類ごとの体積分率比較



ラティスの種類は、通常、以下の優先事項によって選ばれます：

- **応力-ひずみ応答** - 圧縮時のラティスの剛性
- **体積分率** - 設計空間全体のうち、ラティスが占める体積の割合
- **ラティスの意匠性** - ユニットセルの内部構造に依存

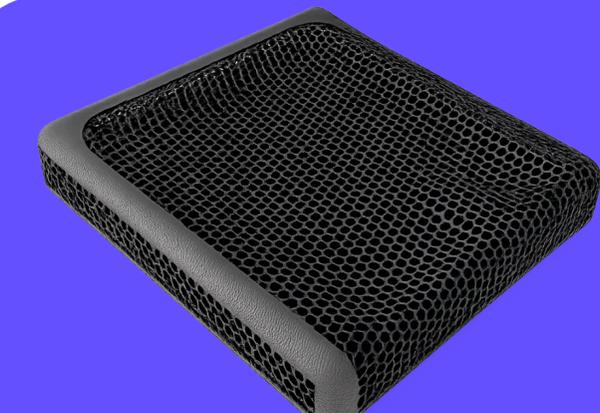
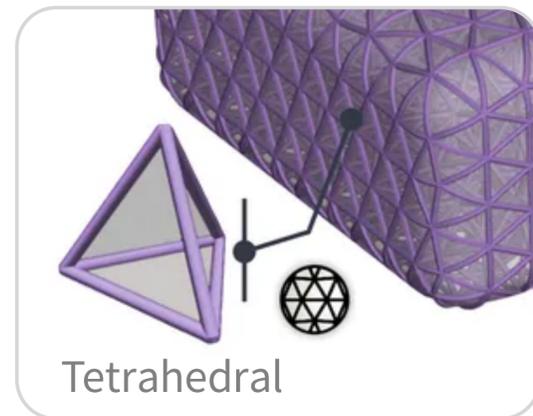
パディングにおいて実績のある**ヘックス・メッシュ・ユニットセル**には、CrossやFluoがあります。



**💡 ヒント:**

ヘックス・メッシュ・ユニットセル・ラティスは、厚みに変化のあるパッドに適しています。これは、メッシュ全体の六面体が設計空間に収まるよう変形するためです。その結果、非常に規則的なパターンが形成されますが、設計空間内ではユニットセルのサイズや形状にばらつきが生じます。

パディングにおいて実績のある**テット・メッシュ・ユニットセル**には、VoronoiやTetrahedralがあります。



**💡 ヒント:**

RhombicやIcosahedralのような高密度ユニットセルは、大型のパッド（自動車シートや車椅子のクッションなど）には適していません。パッドが重くなりすぎ、正常にプリントできない可能性があるためです。

# 応力-ひずみ曲線

ラティスの種類ごとに、部品の性能に影響を与える独自の応力-ひずみ曲線があります。曲線全体の応力値が高いほど、ラティスは圧縮力を受けた際により硬く感じられます。つまり、グラフ上で曲線が高い位置にあるほど、ラティスはより硬くなります。

線形弾性、プラトー、高密度化の各範囲が大きいユニットセルは、全体的により硬いラティスを生み出します。

- ・**線形弾性範囲**は、ラティスが降伏して座屈する前にどれだけのひずみに耐えられるかを示します。これは、曲線の開始部分にある直線的な傾きとして現れます。この範囲で、Lattice Searchから弾性率 (Modulus) の測定値を得ることができます。

- ・**プラトー範囲**は、ラティスが座屈しながら応力下でどのように変形するかを示します。応答は通常、線形応答とプラトー応答の間に位置します。この範囲では、25%ひずみ時の応力が有効な指標となります。

**線形応答**は、グラフ上で着実に上昇する曲線として現れます。これは、ラティスが高密度化する前にさらに圧縮を続けるために、より大きな力を必要とすることを意味します。圧縮するほど反発力が増し、一定の荷重下でも安定した支持性を感じられるため、安定したサポート用途に適しています。

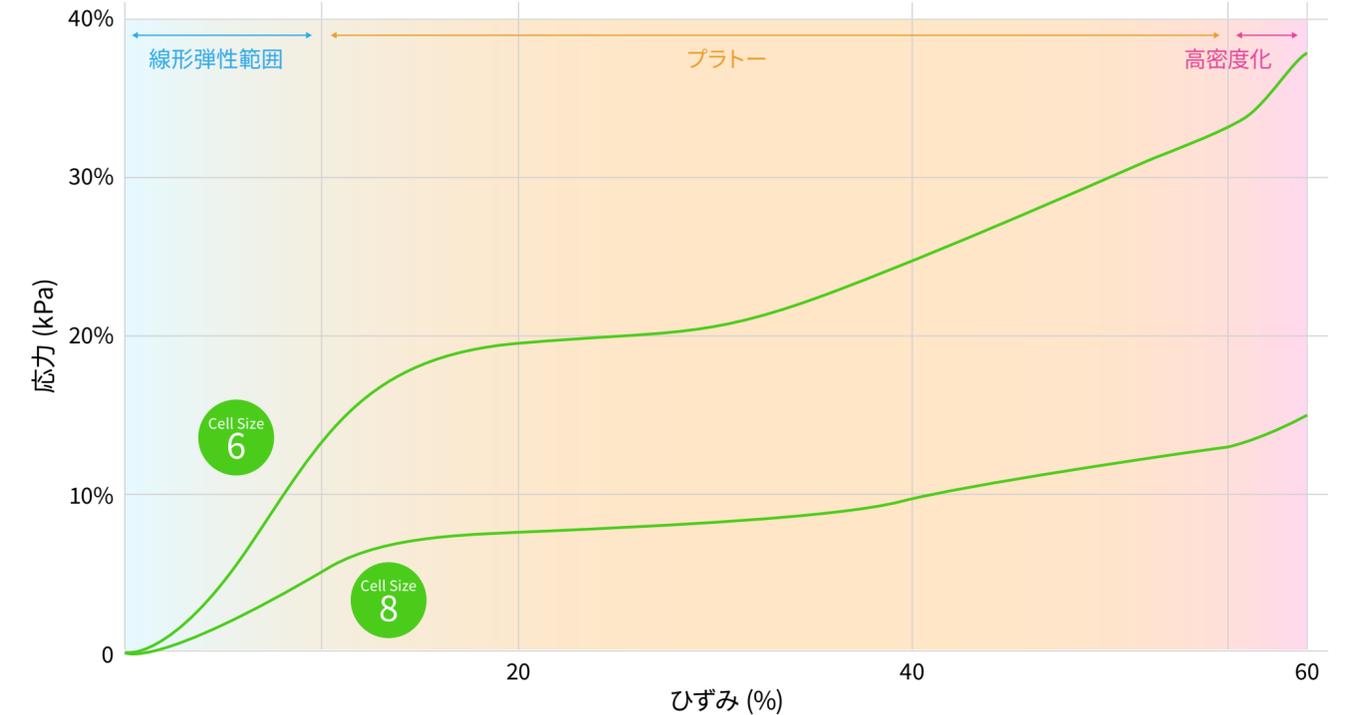
**プラトー応答**は、この範囲で曲線が横ばいになるように見えます。これは、ラティスが高密度化に至るまで、比較的一定の力で座屈を続けていることを示します。そのため、追加の応力がかかっても柔らかさが維持され、クッション性や衝撃吸収性に優れます。

- ・**高密度化**は、ストラットが互いに押しつぶされる前に、ラティスがどれだけのひずみに耐えられるかを表します。これは、曲線の終端に見られる応力の急激な立ち上がりとして現れます。

## 柔らかいラティスに適した範囲とは？

- ・ 25%ひずみ時の応力は、非常に柔らかいラティスで約0~20 kPa、柔らかいラティスで20~80 kPaとなります。特定のアプリケーションや表面積の条件によっては、80~120 kPaでも柔らかく感じられることがあります。[Design EngineのLattice Search機能](#)を活用すれば、ラティスの性能基準を効率的に見つけることができます。

- ・ 体積含有率は、一般的に10~15%が柔らかいラティスの目安となります。ただし、ラティスの種類や材料によっても最終的な性能は変わります。



6mmおよび8mmセルサイズの八面体格子の応力-ひずみ曲線

# セルサイズとストラットの直径

セルサイズとストラットの直径は、ラティスが最終的にどれだけ硬くなるか、または柔らかくなるかを決定します。小さなユニットセルと太いストラットは、大きなセルや細いストラットに比べて硬くなります。

セルサイズは圧縮ひずみと反比例の関係にあります。

大きなセルサイズ = より柔らかい  
小さなセルサイズ = より硬い

ストラットの直径は圧縮ひずみと正比例の関係にあります。

小さなストラットの直径 = より柔らかい  
大きなストラットの直径 = より硬い

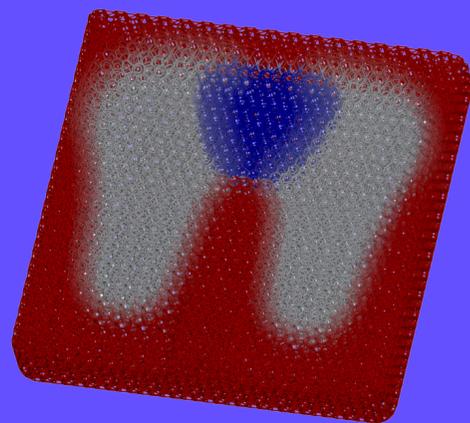
## 💡 ヒント:

小さなパッドの場合、セルサイズはパッドの大きさによって制約されます。そのため、**まずセルサイズを決め**、それに合わせて他の変数を調整し、望ましい剛性を得ることをおすすめします。

# 多様なサポートに対応する パッド用マルチゾーンラティス

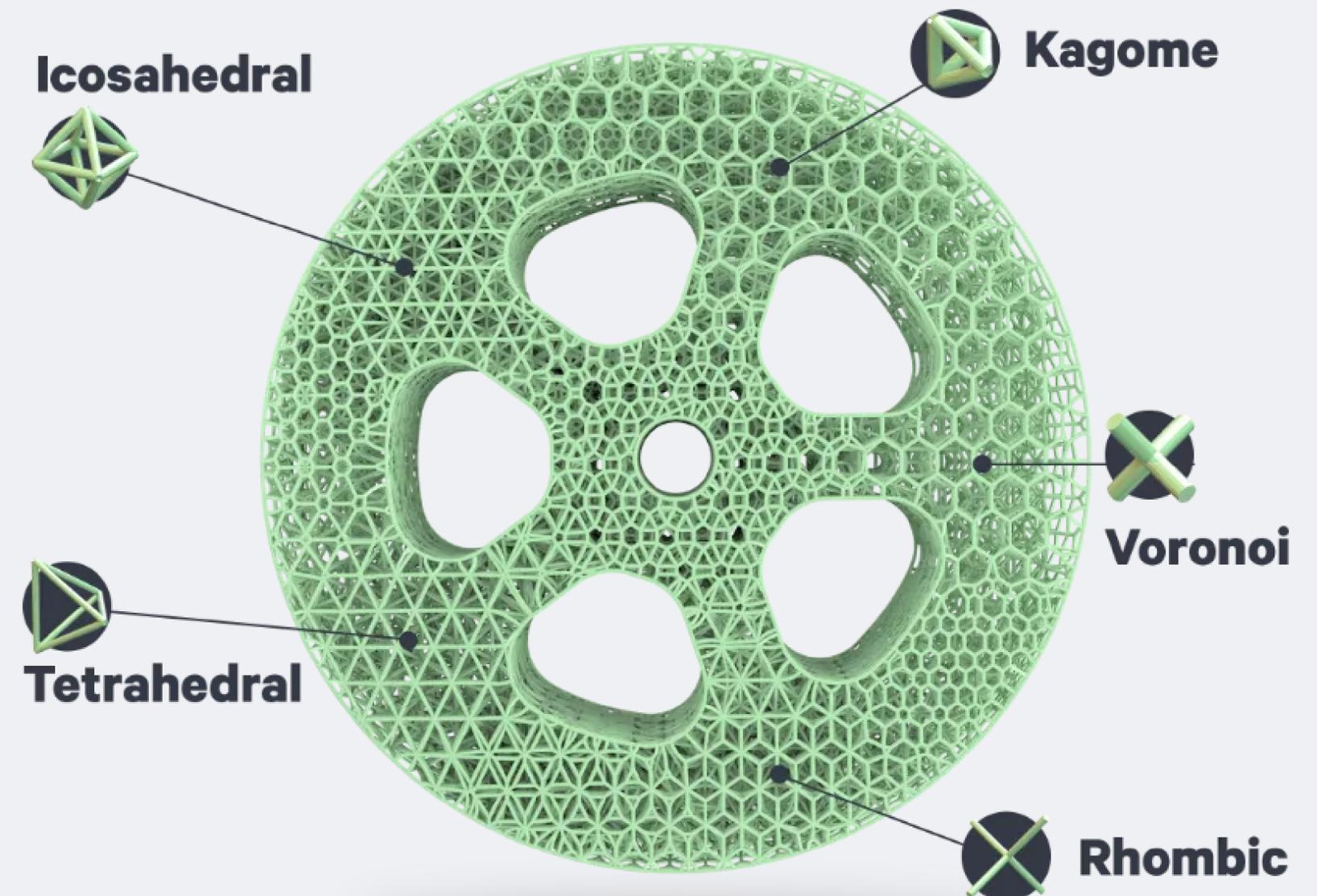
マルチゾーンラティスは、テット・メッシュ・ラティスの性能を高度に制御することを可能にします。ラティスの種類ごとに独自の特性があり、ゾーンを設けることでラティスに複数の役割を持たせることができます。異なるフォームを単純に組み合わせると急激な変化が生じてしまいますが、マルチゾーンラティスでは移行距離を設定でき、その範囲で徐々にラティスを変化させることが可能です。移行距離を長く設定することで、2種類のラティスの特性を融合させたハイブリッドラティスを生成できます。

ラティスの種類、セルサイズ、ストラット径はゾーンごとに変更でき、さらに移行距離を指定することで異なるパラメータ間の連続性を維持できます。最も一般的な使い方はストラット径の変更で、これによりラティスは規則的なパターンを保ちながら、一部の領域ではより硬く、他の領域ではより柔らかく感じられるようになります。



## 💡 ヒント:

マルチゾーンラティスを構成できるのは、異なるテット・メッシュ・ユニットセルのみです。ヘックス・メッシュでもゾーンを設けることは可能ですが、移行は発生せず、特性の変化はユニットセルサイズとストラット径の調整によるものとなります。



# 変数の適切な組み合わせを見つける

Carbon Design Engineソフトウェアを使えば、このガイドで取り上げている多くの変数（ラティスの種類、セルサイズ、ストラットの直径など）を試すことができます。さらに、ラティスの性能を予測する際には、選択したCarbon材料も考慮されます。設計の出発点が、初期のラティス設定の指針となります。

**・フォームの代替:** 既存のフォームを模倣したい場合は、Carbon Design EngineのLattice Searchを使用して、一般的なフォームに似たラティスを見つけてください。

**新製品:** 新しい製品を設計する場合、参照材料が出発点となる剛性の範囲を定める助けになります。性能目標から始め、Lattice Searchを利用して材料、ラティスの種類、形状の組み合わせを探索してください。

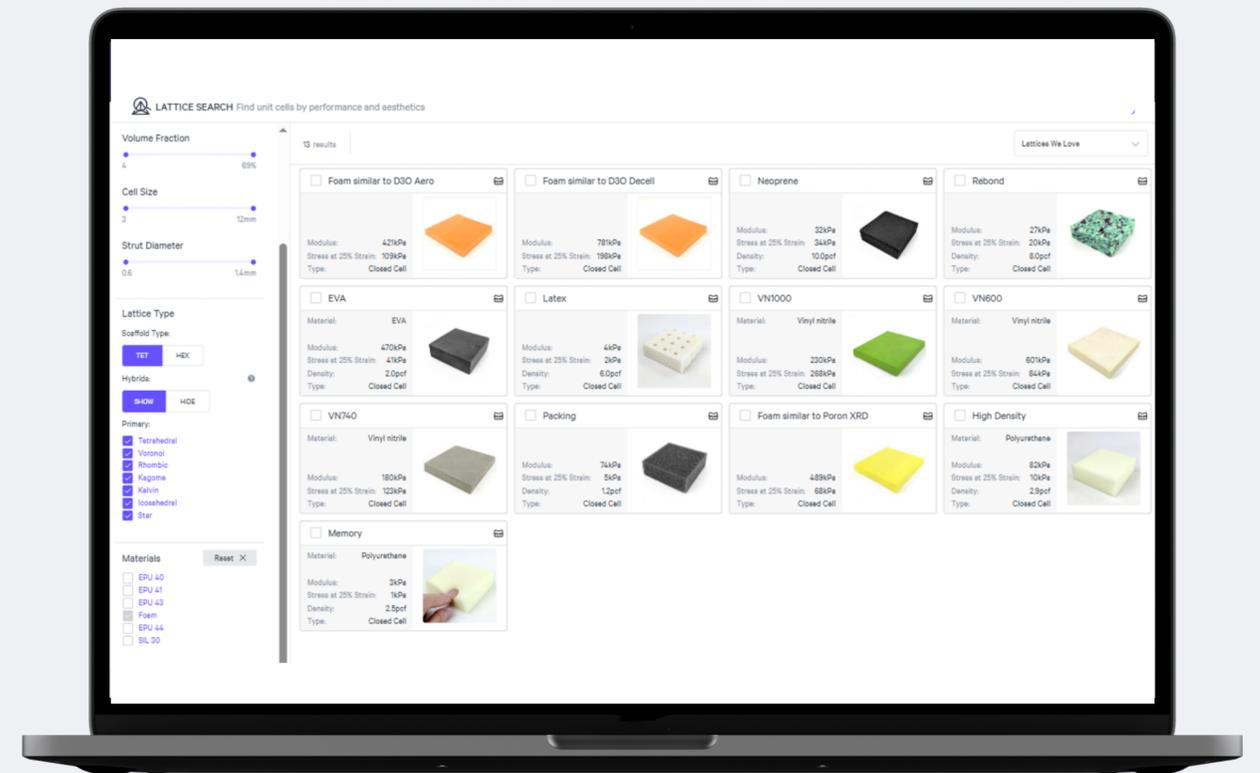
製品をゼロから設計する場合、参照材料が剛性範囲の目安を与えてくれます。Carbon Design EngineソフトウェアのLattice Searchには、一般的なフォームの特性データが組み込まれており、Carbonラティスとの比較に活用できます。

|                  | エキストラソフト                      | ソフト  | ミディアム                           |
|------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| 25%ひずみでの応力 (kPa) | 0 - 20                        | 20 - 80                                    | 80 - 200                        |
| 参照材料             | マシュマロ<br>メラミンスポンジ             | グミベア<br>ヨガマット                              | ビーチサンダル<br>フォームローラー             |
| 参照フォーム           | メモリーラテックス<br>梱包用<br>高密度ポリウレタン | 再生スポンジ<br>ネオプレン<br>EVA<br>ポロンXRD<br>類似フォーム | VN600<br><br>D30 Aero<br>類似フォーム |
| DLSでの製造          | 材料に依存                         | 良  | 良                               |
| アプリケーション         | コンフォート                        | コンフォート                                     | サポート性                           |

# Carbon Design EngineのLattice Search機能

既存のフォーム設計から始める場合も、まったく新しい設計から始める場合も、Design Engineのメタマテリアルライブラリには、数千に及ぶラティスオプションを絞り込むためのフィルター機能が用意されています。さらに、Carbonは一般的なフォームの断面をテストし、ライブラリのラティスシミュレーションデータと同じ形式でデータを取得しました。これにより、ユニットセルを見つけるための参照点を提供しています。既存のフォームに似たラティスを見つけた後は、最終製品の目標に合わせて変数を調整してください。

[Carbon Academyで「フォームからラティス」への変換ワークフロー](#)の例をご覧ください。



## 💡 ヒント:

フォームとは異なり、ラティスはショア硬度で正確に測定することはできません。そのため、通常はヤング率 (MPa) や25%ひずみでの応力を用いて評価されます。ショア硬度の数値を想定している場合は、Carbon Academyの計算ツールを利用して弾性率への近似変換を行うことができます。

# 表面仕上げとカスタマイズのための スキン、パッチ、およびテクスチャ

スキンや小さなソリッド材料のパッチは、さまざまな機能的な理由からラティスの表面上または表面近くに配置できます。小さなパッチは、さらなる快適性に加え、ブランディングやカスタマイズを提供します。設計のこれらの領域には、テクスチャや外部から取り込んだデザインを施すことができます。スキンは、意匠性を高めるためや、ラティスのパターンが人体に不快感を与える可能性がある場合に、パッドの大きな部分を覆うことができます。

スキンや小さなパッチを使用する際は、プリント中および後処理中の樹脂の流れ、さらに最終部品での快適性を左右する通気性の維持に注意してください。これらの問題に対応するには、ラティスの一部を露出させる、またはスキンに穴を設けると効果的です。また、スキンを使用する際は、プリント中に大きな断面が生じないように向きを考慮することも重要です。大きな断面は吸引力を強める要因となります。[スキン使用時の詳細なガイドライン](#)は、Carbon Academyをご参照ください。

## 💡 ヒント:

一部のユーザーは、テクスチャ付きのプリントスキンの方が肌に快適だと感じる場合もありますが、ラティス外側のストラット表面積を増やすことでも、通気性を保ちつつ重量を抑え、快適性を高められる場合があります。ラティス外側のストラット直径を大きくするか、セルサイズを小さくして試してみてください。

1

パッチは、ソリッドな物質で覆われたラティスの小さな領域です。ここはPNG画像（ロゴなど）やテクスチャを追加するのに最適な場所です。



2

ノイズテクスチャは、ランダムで凸凹したテクスチャです。Design Engineでは、3種類の密度のノイズテクスチャをパッチやスキンに適用できます。



3

タイルテクスチャは、規則的なパターンを作成するためのもので、Design Engineでは6種類のタイルテクスチャを利用できます。



4

カスタムテクスチャは、PNG画像をインポートしてパッチに適用できます。タイルテクスチャと同様の機能を持ち、タイルとして自分の画像を使用できます。



# オーダーメイドパディング

## ポイントクラウド

XYZ座標にマッピング可能なあらゆるデータセットでポイントクラウド機能を利用できます。この機能は、ラティス全体にわたって多様性を持たせるために、データとラティスパラメータを関連づけることを可能にします。バリエーションは性能や形状変化への適応性、あるいは意匠性など、さまざまな目的で求められます。よくある活用例のひとつとして、個人の圧力分布データや集約データを用いて、部品のラティス構造を定義する方法があります。

## Carbonカスタムプロダクションソフトウェア

特定のオーダーメイド用途では、設計空間の種類は同じでも、個人ごとに異なる形状に合わせて変化するため、それぞれに同じラティス設計を適用したい場合があります。その際、各ラティスを手作業で設定・ダウンロードする必要はありません。Carbonカスタムプロダクションソフトウェアを使えば、1つのラティス設計を基に、自動化プログラムを設定できます。これにより、スキャンデータや圧力分布データなどの入力をもとに、それぞれの出力に対して同じ方法で同じラティスパラメータを繰り返し適用できます。



# 製造上の考慮事項

ユニットセルを構成するパラメータ（ラティスの種類、セルサイズ、ストラットの直径）はすべて、製造環境におけるラティスの性能を大きく左右します。

アディティブ・マニュファクチャリングにおけるラティスの成功は、次の2つの主要な要因に依存します。

- ・**プリント**：すべてのアディティブ技術にはガイドライン（壁の厚さ、向き、オーバーハングやサポートなど）が存在します。ラティスは、問題なくプリントするためにこれらの条件を満たす必要があります。
- ・**後処理**：洗浄、サポート除去、追加硬化などのプリント後の工程が、ラティスのアプリケーションに対し適切に機能させるために実行可能であることが求められます。

**製造可能性**とは、ラティスが製造プロセスの両面で良好に機能することを指します。Carbon Academy では、ユニットセルやストラット直径ごとにテット・メッシュ・ラティスの製造可能性の範囲を確認できる[ツールを提供](#)しています。

## プリント時の部品の向き

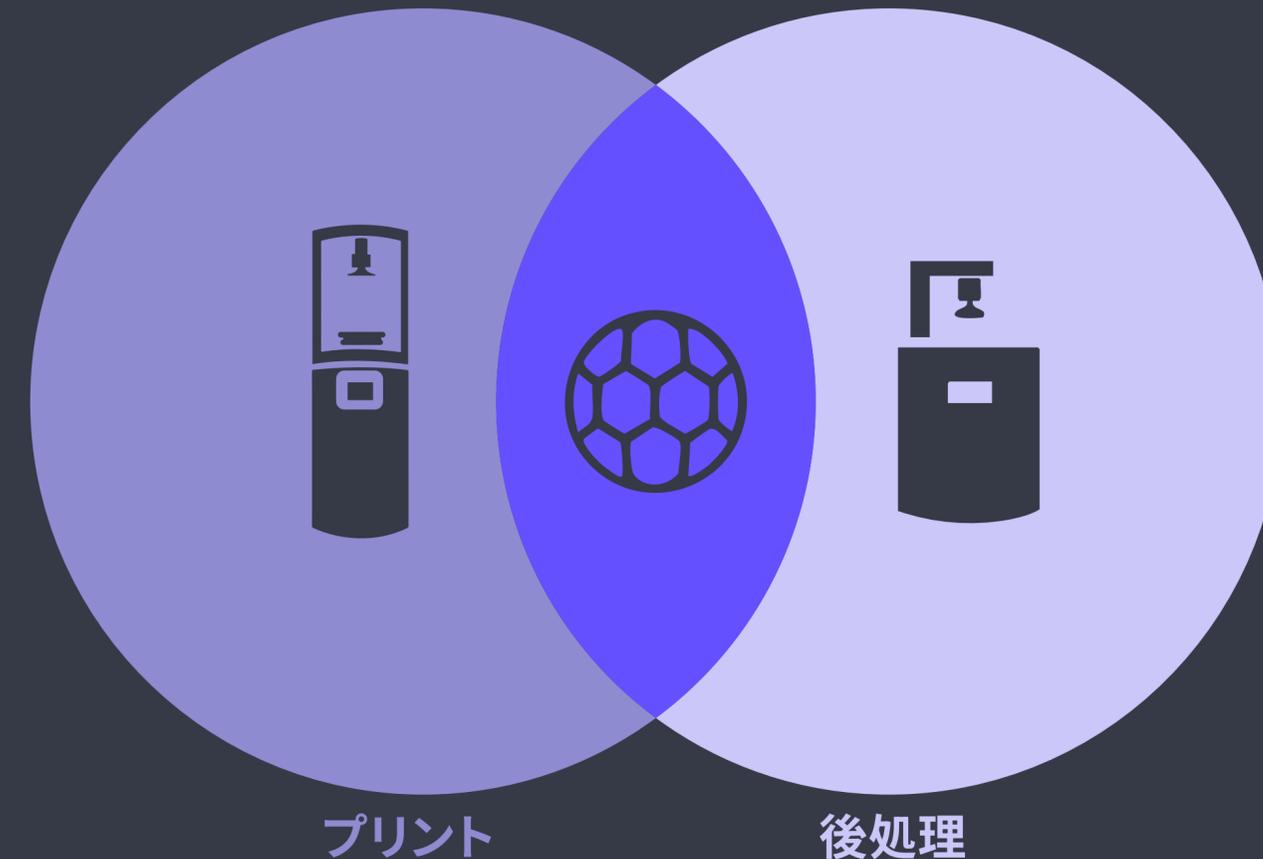
パッドの形状によっては、正しくプリントするためにサポートが必要となる場合があります。サポートはプリント後に除去できますが、そのための追加処理が必要となり、表面が粗くなる可能性があります。可能であれば、粗い面がユーザーの肌に触れないように、部品の向きを工夫してください。

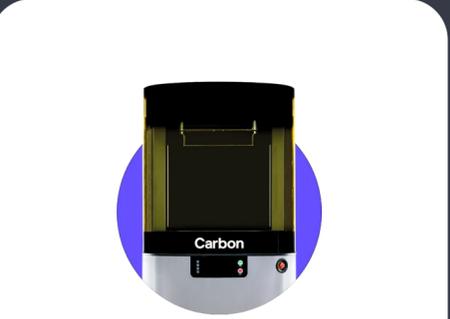
車いす用シートのような非常に大きなパッドの場合、プラットフォームへの良好な密着性と樹脂の正しい流れを確保するため、シートをプラットフォームに対して90度回転させる必要があります。サポートでは、プリント中のクッション全体の重量を支えることはできません。設計に平らな側面がない場合は、プリント後に接合できるようパッドを半分に分割することを検討してください。

## 寸法

Carbon の4種類のプリンタモデルは、それぞれ異なるプリントサイズに対応しています。右図を参考に、製品を製造可能なプリンタを確認してください。ここで対応しているサイズを超える場合は、パディングを複数のセクションに分割し、接合用の仕組みを設計に組み込むことができます。

## 製造可能性



|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <b>M2 &amp; M3</b>  | <b>M3 Max</b>   | <b>L1</b>   |
| 189 x 118 x 326 mm  | 307 x 163 x 305 mm  | 400 x 250 x 460 mm  |
| 7.4 x 4.6 x 12.8 in   | 12.1 x 6.4 x 12.0 in  | 15.7 x 9.8 x 18.1 in  |

# プリントオプション

## 量産向けオンサイト・プロトタイピング

オンサイト・プロトタイピングでは、メーカーから試作品の到着を待たずに部品をすぐにプリントしてテストできるため、開発スピードを高められます。Carbonは、さまざまなプリンタサイズに加え、オンデマンドのニーズに応じた柔軟なサブスクリプションプランを提供しています。

## CPN

Production Network (CPN) は、Carbonのアイデアから製品化までを支えるプラットフォームに精通した、世界有数のデザイン会社や受託製造業者によるグローバルなエコシステムです。ニーズに合ったCPNパートナーを見つけ、Carbonプラットフォームを活用して、革新的な製品を設計・開発・製造しましょう。

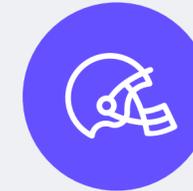
# アプリケーション



車いす



サドル



ヘルメット



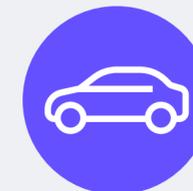
グローブ



ハンドルグリップ



アパレル



自動車用シート 体に合わせたクッション材



POWERED BY CARBONのその他の製品を見る

もっと詳しく知りたいですか？

これらすべてのトピックについては、[Carbon Academy](#)でさらに学べます。

**Carbon**<sup>®</sup>

[carbon3d.co.jp](https://carbon3d.co.jp)