



生体模倣による 設計自在で繰り返し吸収可能な 薄型衝撃吸収材

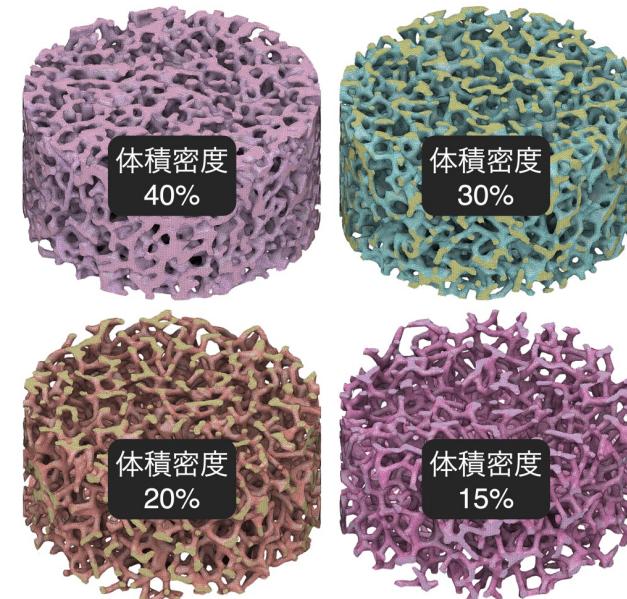
北海道大学 大学院工学研究院
機械・宇宙航空工学部門
准教授 山田 悟史



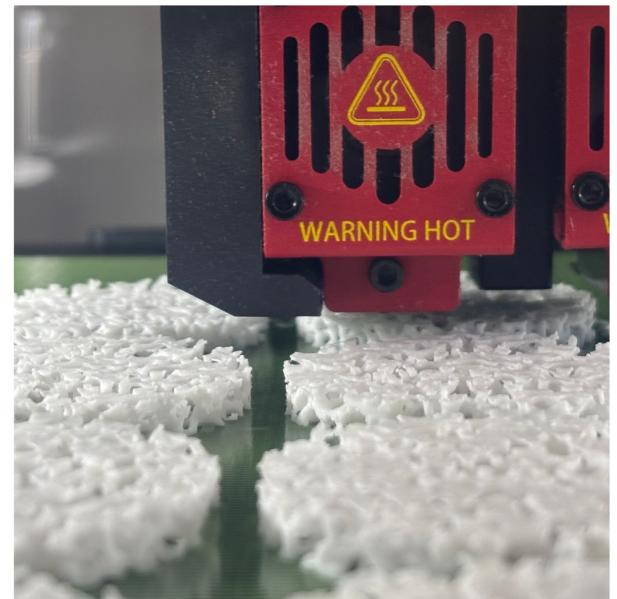
新技術の概要と特徴

- 力学的に最適化された骨構造を模倣した「**海綿骨模倣構造**」を採用し、柔軟で復元性に優れたTPU素材（熱可塑性ポリウレタンエラストマー）を用いることで、**あらゆる方向の衝撃を効果的に吸収し、繰り返しの衝撃にも耐える優れた衝撃吸収材を実現。**
- **3Dプリント可能**で設計自由度が高く、パーソナライズ設計が容易。
- 生体適合性と**通気性**も兼ね備える。

海綿骨模倣構造 × TPU素材 × 3Dプリント



用途に応じて構造を自在に設計



柔軟なTPU素材で3Dプリント



繰り返し吸収可能な優れた衝撃吸収性能



従来技術とその問題点

衝撃吸収材の従来技術

		新技術	競合技術	
			発泡スチロール	ポリウレタン
S	衝撃吸収性	◎	○	◎
	繰り返し性	◎	×	◎
	生体適合性	○	○	○
Q	通気性	◎	×	×
	フィット性	◎	×	△
	軽量	○	○	×
D	リードタイム	△	○	◎
C	価格	△	○	△
E	リサイクル	○	○	○

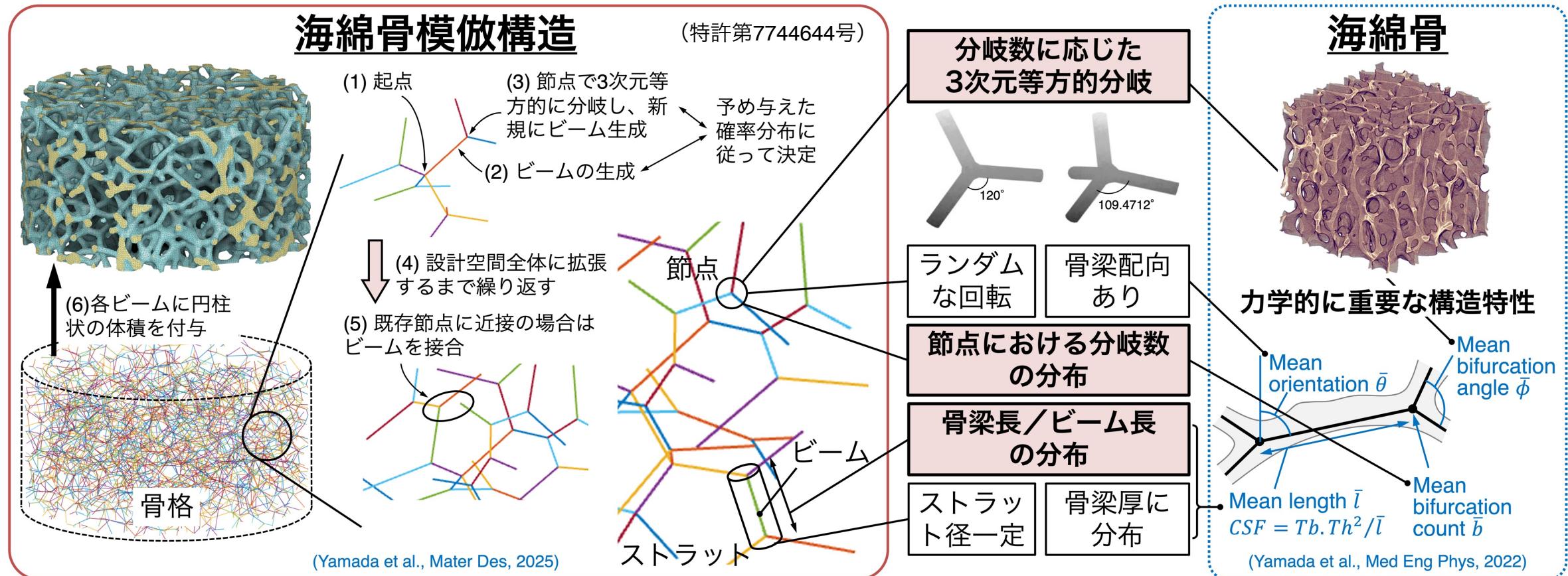
S: safety; Q: quality; D: delivery; C: cost; E: environment

多孔質構造（ラティス）の従来技術

		海綿骨模倣構造	競合技術	
			セルラーラティス	確率的ラティス
構造	単位構造	なし	あり	なし
	3D等方性	◎	原理的に△	原理的に○
	通気性	○	○	○
設計	設計自由度	○	△	△
	分布・異方性	○	△	○
製造	3Dプリント	経験的に○	○	○
力学	破壊進展抑制 エネルギー吸収	○	一般的に△	原理的に○
	3D等方性	○	原理的に△	原理的に○



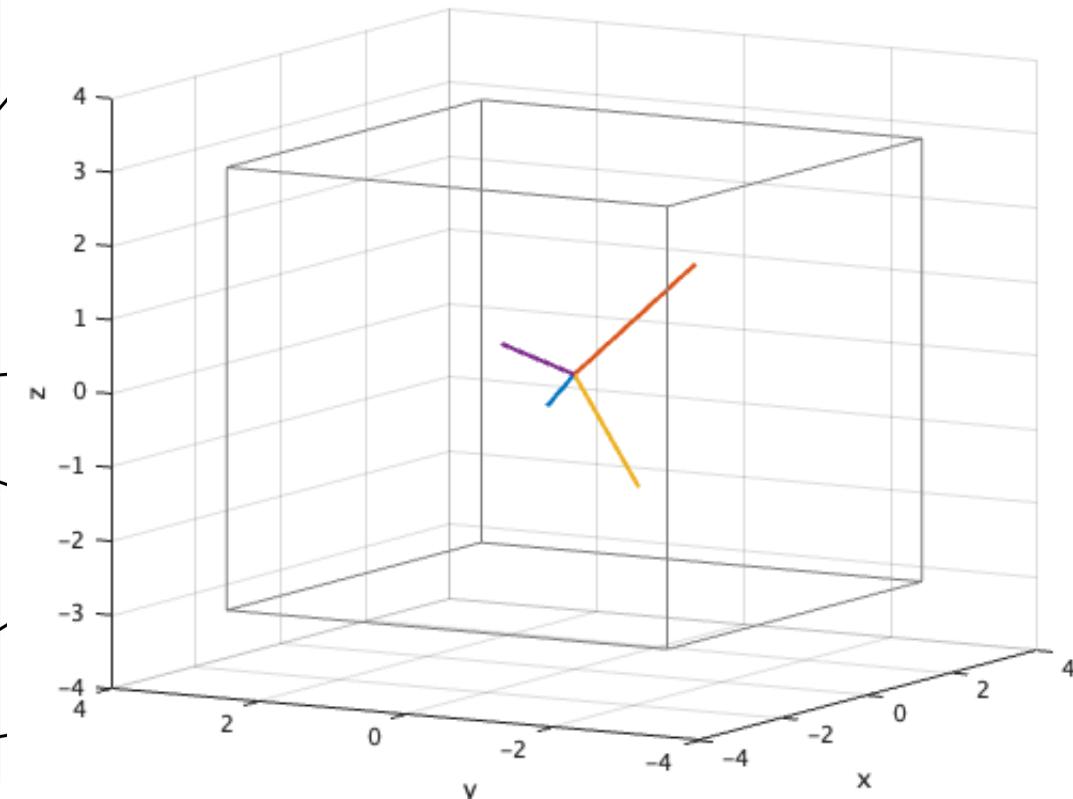
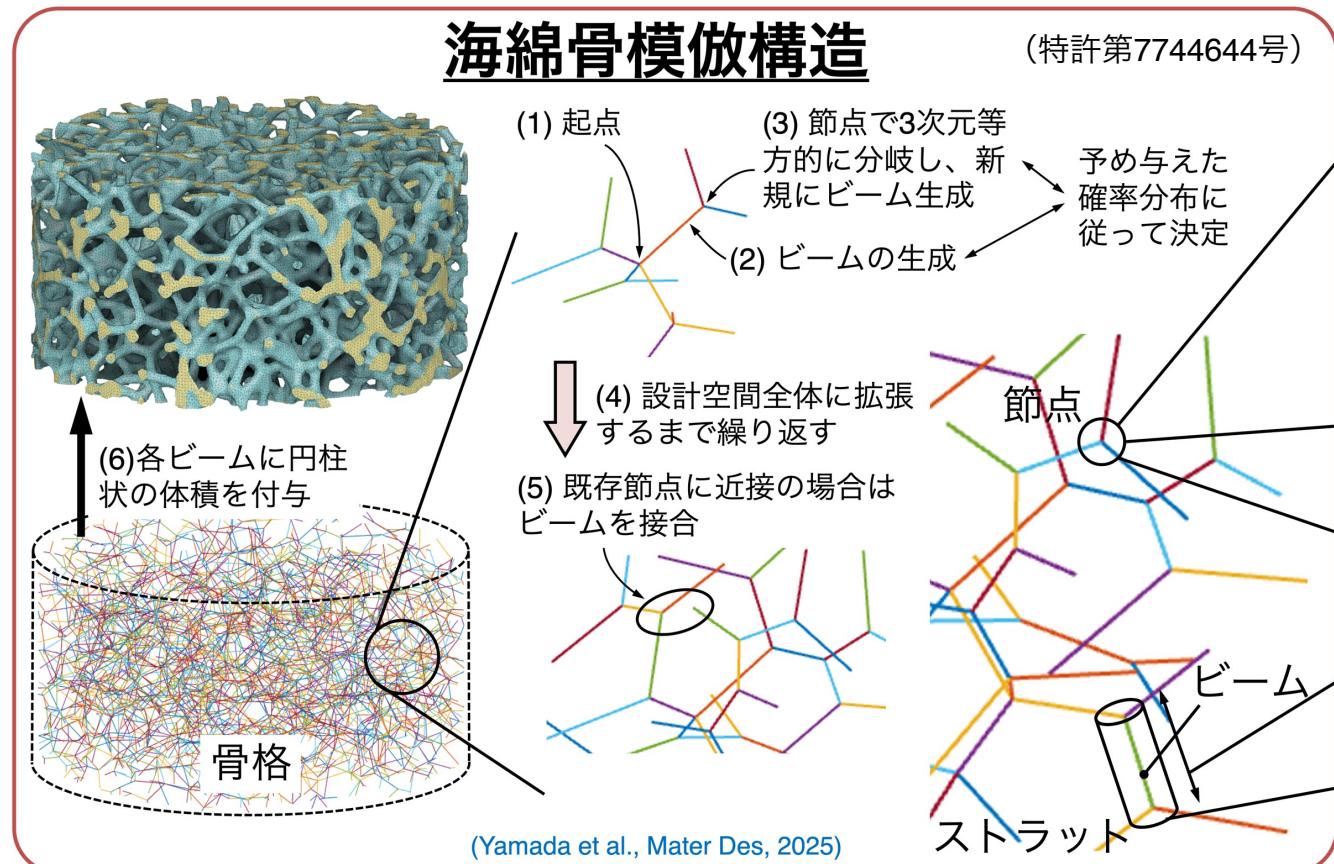
海綿骨模倣構造の特徴と構築方法



- ビーム長と分岐数の確率分布、ストラット径、接合条件により、内部構造が自由に設計可能、高い3D等方性の構造が可能（座標や配向角に応じた構造分布や異方性も可能）



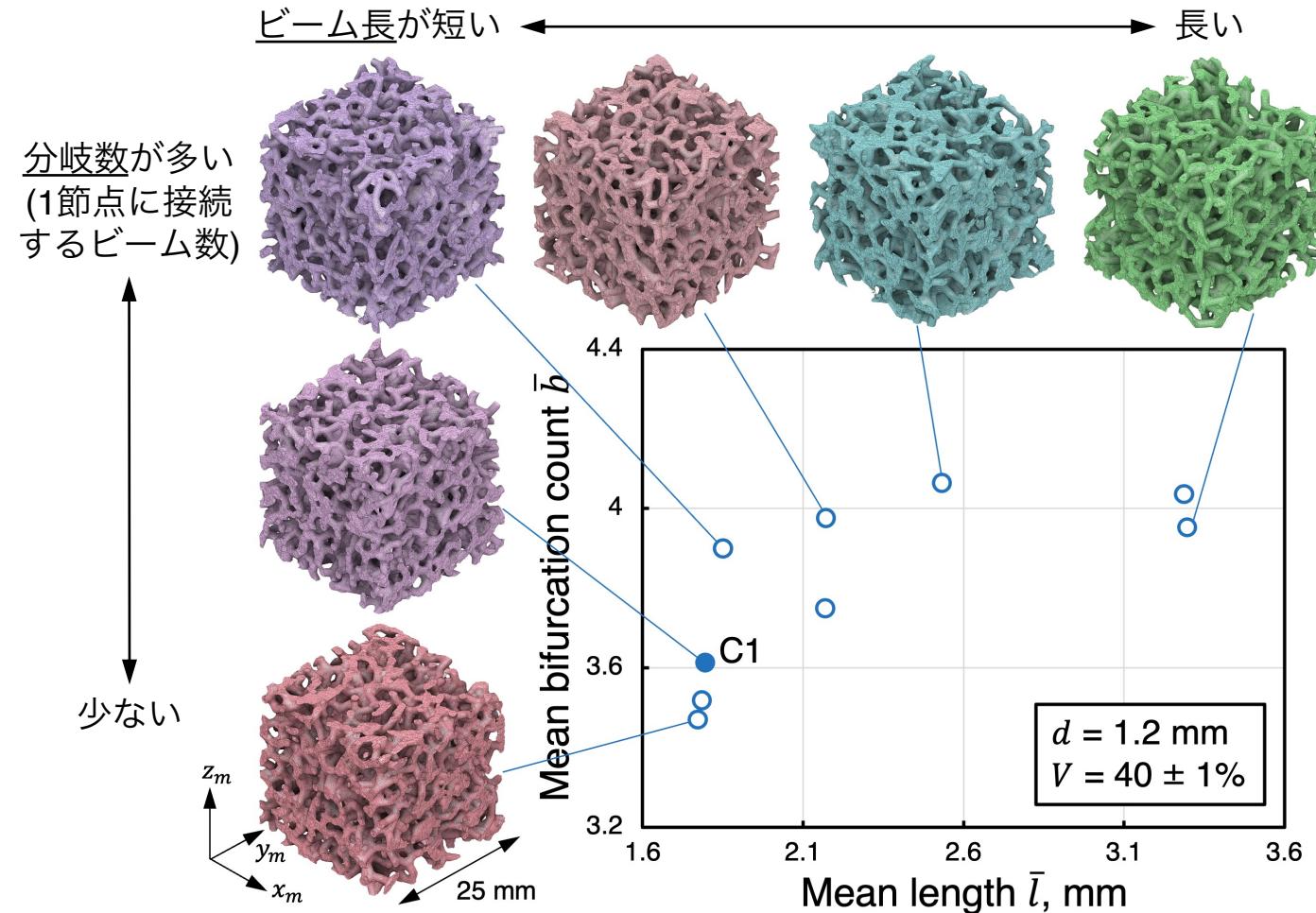
海綿骨模倣構造の特徴と構築方法



- ビーム長と分岐数の確率分布、ストラット径、接合条件により、内部構造が自由に設計可能、高い3D等方性の構造が可能 (座標や配向角に応じた構造分布や異方性も可能)



内部構造の設計自由度



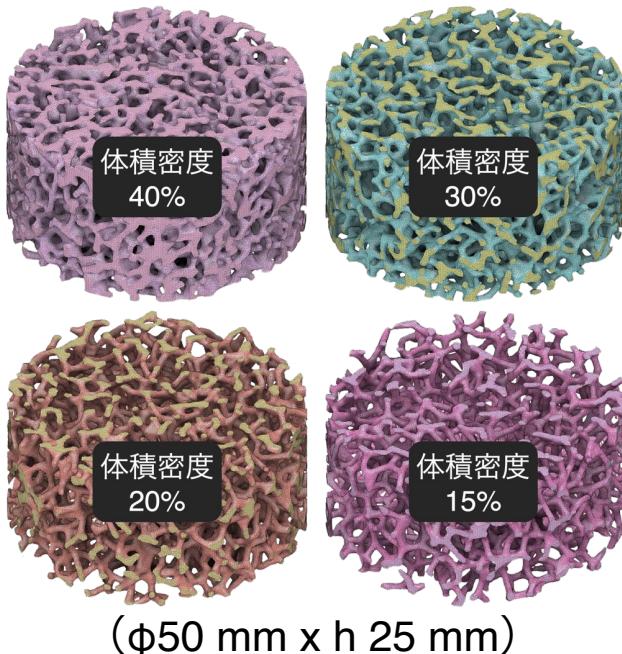
- 単純な生体模倣にとどまらず、力学的に有用な構造特性に着目
- 設計変数の組み合わせにより、体積密度や内部構造が調整可能
- 左図のように、同体積密度・同ストラット直徑においても、ビーム長の大小や分岐数の多少が異なる内部構造が生成可能
→ 高い設計自由度
- 力学的性能やその他の要求に合わせて、内部構造が設計可能



新技術: 海綿骨模倣構造 × TPU素材 × 3Dプリント

(熱可塑性ポリウレタンエラストマー)

▼体積密度15%～50%

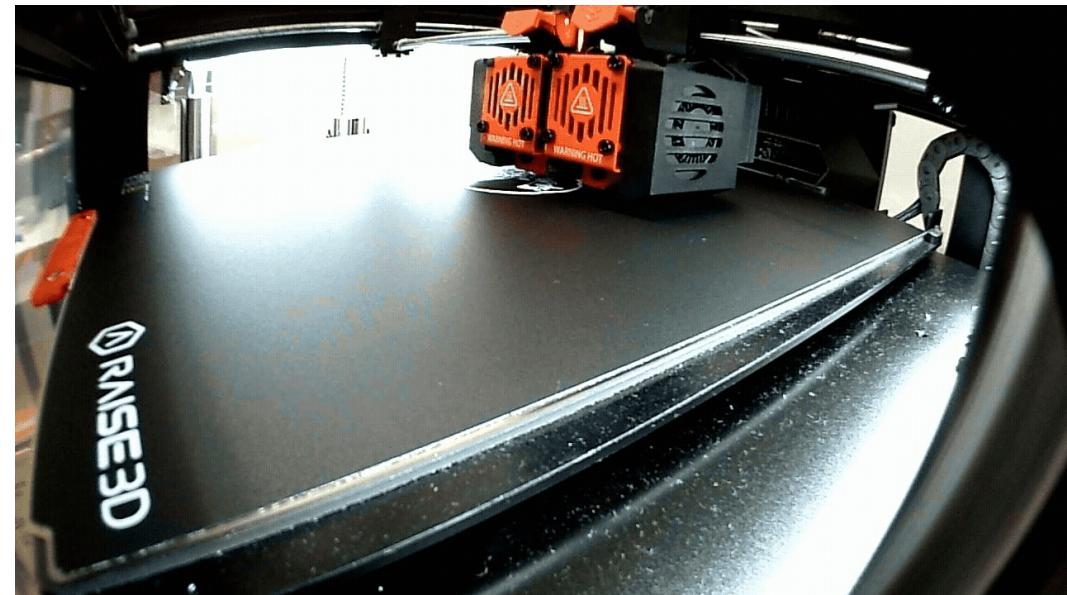


▼市販の柔軟な樹脂フィラメント (TPU素材 他)

Label	Product
64D	TPU64D (Forward AM)
95A	TPU95A (Raise3D)
P95	TPU95A (Polymaker)
85A	TPU85A (Forward AM)
75A	TPE75A (Hotty Polymer)
60A	TPE60A (Hotty Polymer)

(Raise3D 日本OFP)

▼汎用のMEX方式3Dプリンタで製造可能



(Raise3D E2/Pro3 HS Plusで確認済)

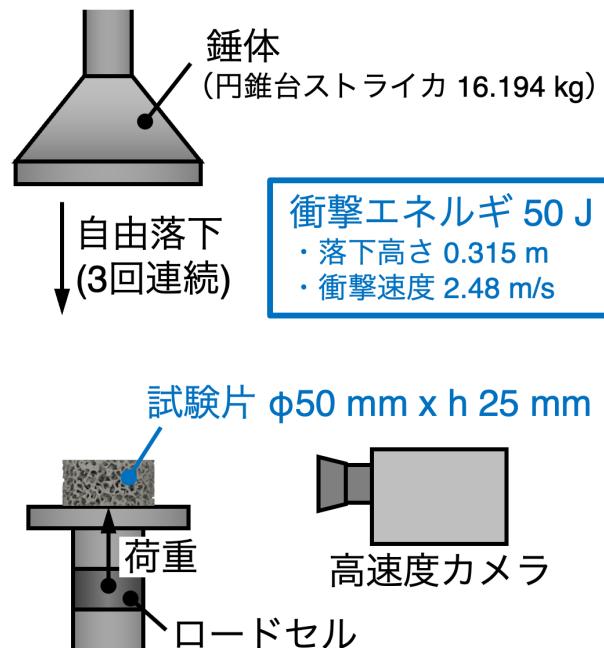
- いずれの樹脂フィラメントにおいても、内部構造が崩れることなく、汎用のMEX方式3Dプリンタで製造可能 (サポート材は不要、製造条件はほぼ装置・材料メーカーの推奨値のまま)

→ 樹脂材料における高いプリント性を確認

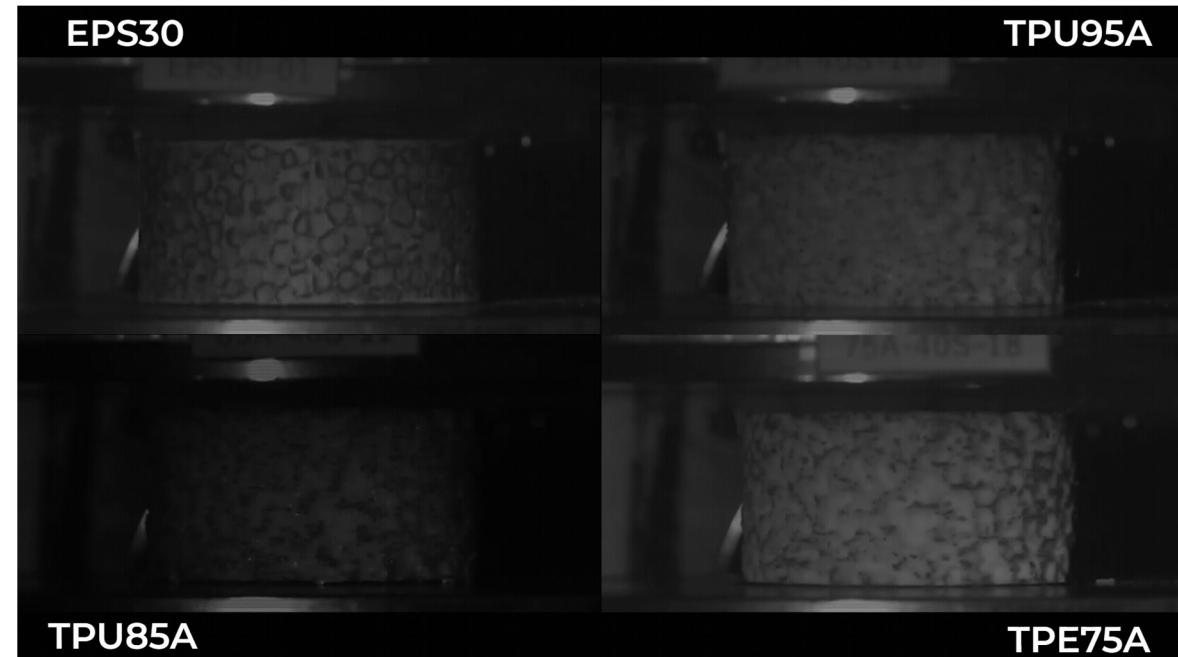


衝撃吸収性試験

落錘型衝撃圧縮試験

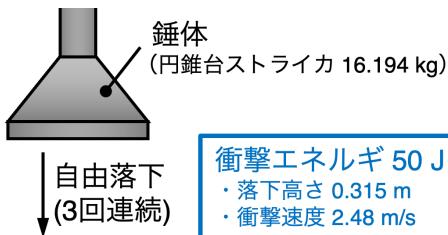


▼衝撃圧縮時の試験片の変形の様子



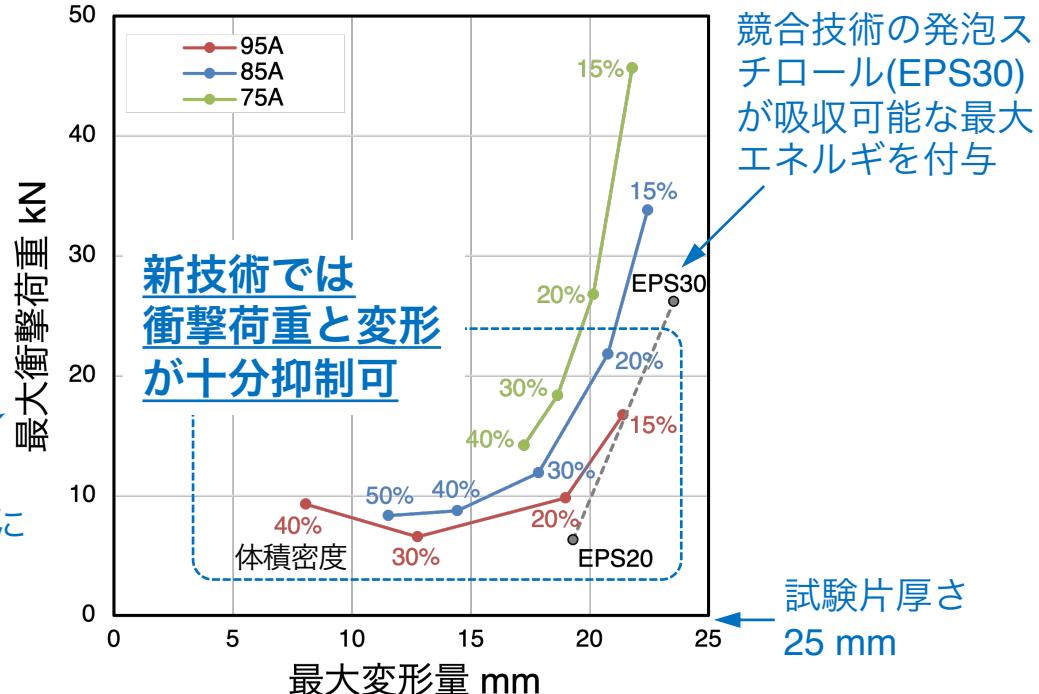
- ヘルメットの衝撃吸収材に使用される発泡倍率30倍と20倍の発泡スチロール試験片 (EPS20・EPS30) をベンチマークに設定
- EPS30が吸収できる最大の衝撃エネルギーの50 Jを最大3回連続で負荷 (この衝撃エネルギーはヘルメットの試験規格にもあり)

新技術による繰り返し吸収可能な衝撃吸収性



試験片で吸収されロードセルに
伝達された衝撃荷重

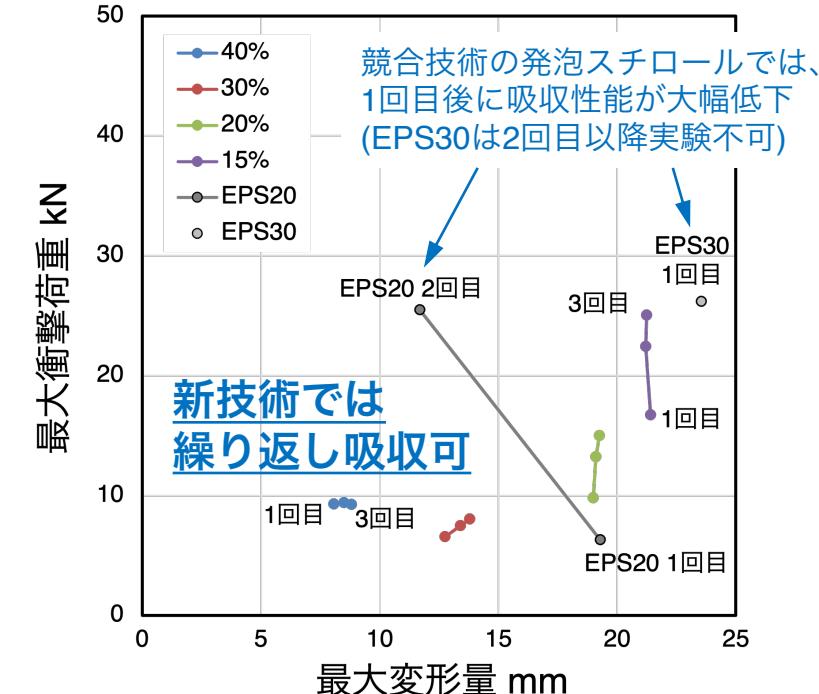
▼1回目の衝撃負荷の衝撃吸収性能



新技術では
衝撃荷重と変形
が十分抑制可

競合技術の発泡スチロール(EPS30)が吸収可能な最大エネルギーを付与

▼3回の繰り返し衝撃負荷 (TPU95A)



新技術では
繰り返し吸収可

競合技術の発泡スチロールでは、
1回目後に吸収性能が大幅低下
(EPS30は2回目以降実験不可)

- 衝撃圧縮負荷時の最大衝撃荷重と試験片の最大変形量を評価（最大衝撃荷重が抑制できれば○）
- 樹脂フィラメントの材料物性と海綿骨模倣構造の体積密度により、最大衝撃荷重と最大変形量が放物線状に変化 → 用途に応じて性能を制御可能



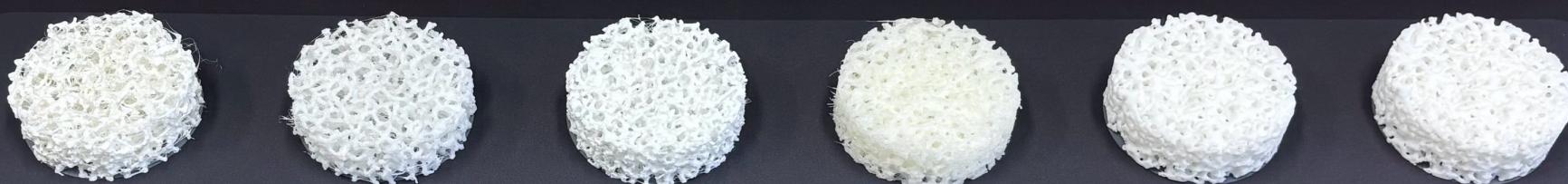
新技術による薄型化

競合技術：
発泡スチロール



発泡スチロール
(発泡倍率30倍・25mm厚)

新技術：海綿骨模倣構造 × TPU素材 × 3Dプリント



発泡スチロールと同程度以上の衝撃吸収性

体積

TPU 64D
Forward AM 社

TPU 95A
Raise 3D 社

TPU 95A
Polymaker 社

TPU 85A
Forward AM 社

TPE 75A
Hotty Polymer 社

TPE 60A
Hotty Polymer 社

(大学見本市2025で展示)

- いずれの樹脂フィラメントも15 mm厚で、25 mm厚のEPS30と同程度の衝撃吸収性能を達成
- TPU64D～TPU85Aは3回連続の衝撃吸収が可能 (TPE75A・TPE60Aは2回連続可能まで確認)
→ 繰り返し吸収可能な薄型の衝撃吸収材が実現
- 15 mm厚のTPU64Dは6 g、一方EPS30は2 g (超軽量化には課題あり)



新技術の特徴・従来技術との比較

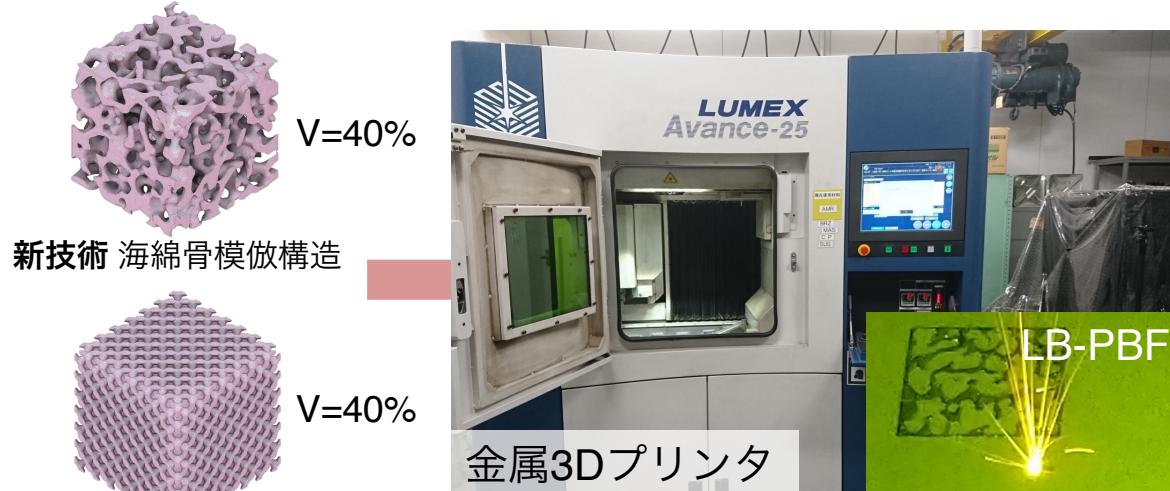
- 単純な生体模倣にとどまらず、力学的に有用な構造特性を自在に設計可能
- 一般的な衝撃吸収材のEPSと比較し、同等以上の衝撃を繰り返し吸収でき、薄型化が可能
- 3Dプリント性・生体適合性・通気性を備えているため、個人に合わせたパーソナライズ設計が容易
- 3次元等方性に優れ、設計自由度が高いため、性能の分布や異方性の制御も可能
- 多孔質化により軽量（ただし超軽量なEPSよりは重い）

従来技術との比較

		新技術	競合技術	
			発泡スチロール(EPS)	ポリウレタン
S	衝撃吸収性	◎	○	◎
	繰り返し性	◎	×	◎
	生体適合性	○	○	○
Q	通気性	◎	×	×
	フィット性	◎	×	△
	軽量	○	○	×
D	リードタイム	△	○	○
C	価格	△	○	△
E	リサイクル	○	○	○

S: safety; Q: quality; D: delivery; C: cost; E: environment

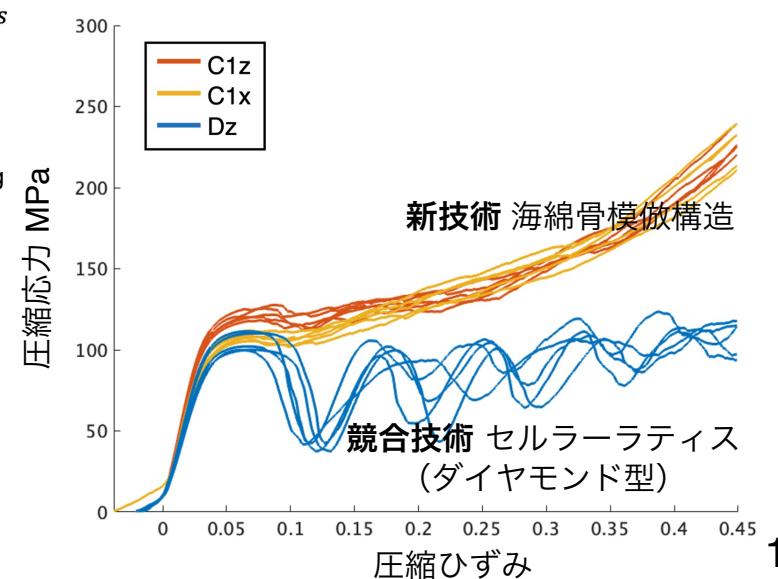
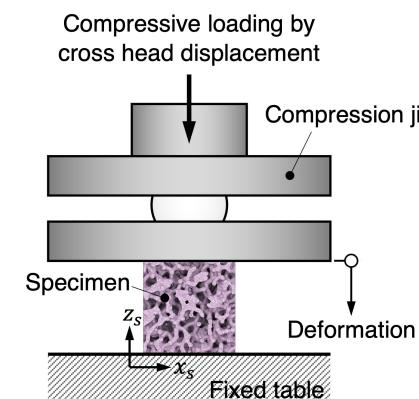
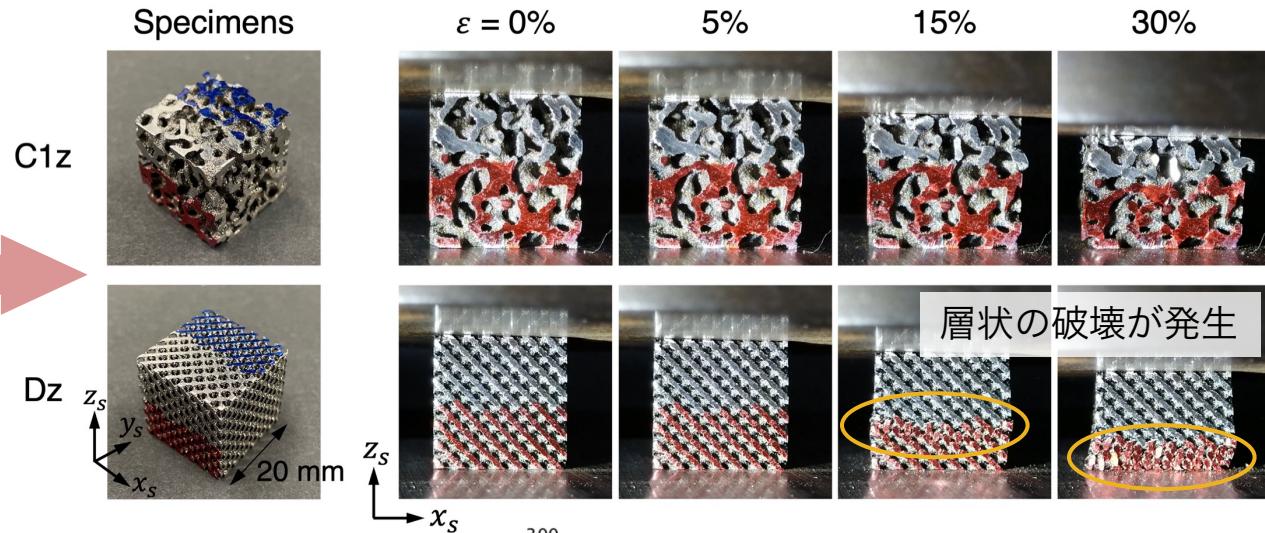
金属3Dプリントでも高いエネルギー吸収性



競合技術 セルラーラティス
(ダイヤモンド型)
(北海道立総合研究機構との共同研究にて実施)

- マルエージング鋼を用いてLPBF法により3Dプリント → 高い3Dプリント性を確認
- 圧縮負荷において、破壊進展が抑制され高いエネルギー吸収性を確認 → **衝撃吸収材の可能性**
- 力学的等方性

Yamada et al., 2025. Novel strut-based stochastic lattice biomimetically designed based on the structural and mechanical characteristics of cancellous bone, Materials & Design 251, 113657. (CC BY-NC-ND 4.0)





想定される用途

- 社会的重要性と発展性を考え、最初のターゲットとして幼児の頭部保護に着目し、年齢や頭部形状から最適設計可能なヘルメットの実現を目指しています。事故で生じる複数の衝撃に対応し、フィット性、通気性、薄型化を可能にします。
- チャイルドシートやヒップパッド、靴のソールやインソール、対象物に最適化させた輸送用緩衝材、等への実装も可能です。
- 用途に応じて性能が最適化できる本技術は、他の樹脂や金属の3Dプリントも可能です。



(北海道立総合研究機構にてイラスト作成)

自動車（シートの内部構造など）、ロボティクス（ソフトロボットハンドなど）、医療、スポーツなど、幅広い分野への展開が期待できます。



実用化に向けた課題

● 頭部保護材への実装に向けた技術開発：

頭部傷害評価に基づく優れた頭部保護性能の達成、ヘルメットの衝撃吸収ライナの設計・3Dプリント方法の開発、ヘルメットの安全性評価、高機能でカスタマイズされたヘルメットを可能とする一気通貫のものづくりサービス実現にかかる要素技術の開発 (JST A-STEP産学共同にて研究開発中)

● その他の衝撃吸収材や制振材への実装に向けた技術開発：

疲労試験と耐候性試験による耐久性評価、振動抑制性能の評価、材料・密度・内部構造の最適化

● 社会実装に向けた設計・製造に関する技術開発：

他のゴムライク材料や3Dプリント法での実証、リードタイム・コストの評価、海綿骨模倣構造構築プログラムとCAD/CAEソフトウェアとの連携



企業の皆様への期待

本技術の幅広い社会実装に向けて

- 短いリードタイムで低成本な衝撃吸収材の提供のため、最適な3Dプリント用材料の開発、製品の最適な3Dプリント方法の開発（共同研究）
- 最適な衝撃吸収材の設計を可能とするため、これまでに開発した海綿骨模倣構造構築プログラムとCAD/CAEソフトウェアとの連携（ライセンス提供）
- 衝撃吸収材や制振材を含む製品開発中の企業、特にカスタマイズ可能な製品を想定される企業の方に、本技術は有効と考えています。（共同研究・ライセンス提供）

頭部保護材等への実装に向けて

- 頭部傷害評価に基づいた材料・密度・内部構造の最適化により、優れた頭部保護性能が達成できる見込みです。カスタマイズ可能な自転車用ヘルメットやチャイルドシートの製品化を目指しています。これを応用したインソール等も可能です。（共同研究）



企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、汎用の3Dプリンタで容易に製造でき、形状や性能もカスタマイズ可能であるため、高付加価値製品の提供が期待できます。
- 衝撃吸収性を裏付ける実験データあり
- CADデータ・サンプルの試供が可能（ご相談ください）
- 本格導入にあたっての技術指導が可能



本技術に関する知的財産権

- **発明の名称**：設計装置、設計方法、プログラム、及び多孔質構造体の製造方法
- **特許番号** : 特許第7744644号
- **登録日** : 令和7年9月17日
- **特許権者** : 国立大学法人北海道大学
地方独立行政法人北海道立総合研究機構
- **発明者** : 山田悟史、鈴木逸人、東藤正浩、澤田和樹、西村亮彦



产学連携の経歴

- 2024年～ JSTA-SSTEP産学共同ステージI（育成フェーズ）に採択
「生体骨模倣多孔質構造による衝撃吸収・耐久性に優れた
3Dプリント可能な頭部保護部材の開発」
(共同研究機関：上智大学・北海道立総合研究機構)





お問い合わせ先

北海道大学

产学・地域協働推進機構

产学・地域協働推進機構ワンストップ窓口

<https://www.mcip.hokudai.ac.jp/about/onestop.html>