

3D プリンタによるポリウレタンフォーム特性の再現と 自動車用シートへの適用

Reproduction of polyurethane foam characteristics with a 3D printer,
And application to automobile seats

板橋 大一¹, 高橋 佳之¹, 岡崎 太祐², 浅野 義弘²

Taichi ITABASHI¹, Yoshiyuki TAKAHASHI¹, Taisuke OKAZAKI², Yoshihiro ASANO²

¹株式会社ブリヂストン, ²慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

¹Bridgestone Corporation, ²Graduate school of Media and Governance, Keio University

【要約】

本研究では、3D プリンタを用いてポリウレタンフォームのセル構造体に類似する幾何構造を設計し機械特性の比較を行った。自動車クッション用ポリウレタンフォーム材の観察結果からその構造体を Kelvin 14 面体とし、既存ポリウレタンフォーム材、および3D プリンタ造形した複数のブロックサンプルを作製した。造形には米国 Carbon 社製 3D プリンタとEPU 素材(Elastomeric Poly Urethane)を用いた。4DFF2020 での先行研究に基づく試験方法でヤング率を測定し、Ashby map 上にプロットし可視化を行った。本研究結果は自動車用シート等各種クッション材の製品開発や普及、および新たな価値を示す試験方法の提案に貢献するものと考えられる。適用事例の1つとして Kelvin14 面体を用いたレーシングシートを作製した。

キーワード : 3D, 機械特性, Kelvin14 面体, ポリウレタンフォーム

【Abstract】

This research is about poly-urethane foam structure modeled with a 3D printer. Based on the observation results, the structure was designated as a Kelvin tetradecahedron. Block samples with an existing poly-urethane foam and made by a 3D printer were prepared. The Structure 3D printer was manufactured by Carbon, USA and EPU (Elastomeric Poly Urethane) material. Young's modulus obtained by the measurement method introduced in 4DFF 2020 were visualized by mapping on the Ashby-map. The result will contribute to product development and popularization of various cushion materials such as automobile seats, and proposal of new test methods that show new value. This time, a racing seat was produced using Kelvin tetradecahedron as an application example.

Keywords : 3D, mechanical character, Kelvin tetradecahedron, poly-urethane foam

1. 序論

ポリウレタンフォームは軽くクッション性や耐久性に優れた特性を持ち、クッション材として幅広く使用されている。製造には2種類の成分を混合させ、ガスを出し泡状に膨らみながら樹脂化させて行う。このことから完成した製品は泡化で構成されたセル構造とウレタン樹脂そのものの2つの特性を持つが、化学反応や製造プロセスの制約から完成品で得られる特性範囲には限界がある。一方、近年の技術向上により、スニーカーのミッドソール¹・ヘルメット内部のクッション材²・自転車のサドル³など多くの分野で3D プリンタ製クッション材が使用されており、利用範囲が拡大している。

本研究の目的は、3D プリンタを用いて作成したサンプルと既存ポリウレタンフォームの材料特性を比較し、それを基に材料の置換や従来のポリウレタンフォームでは設計できない特性を得られるかを検討することで、新たな価値創造ができるかの可能性を探ることである。実際の取り組みとしてポリウレタンフォームのセル構造観察結果からセル構造体を特定し、現行範囲内外の特性を得ることを目的として3Dプリンタ製ブロックサンプルを作

成した。これらを先行研究に基づく試験方法を用い自社ポリウレタンフォームとヤング率と密度の比較を行い、物性比較手法として知られている Ashby マップ⁴上での視覚化と考察を行った。

2. サンプル作成

2.1 セル構造の決定

(株)ブリヂストン(以下、『自社』)で製造している自動車用ポリウレタンフォームを観察し、セル構造体は Kelvin14 面体(切頂8面体)とした。Fig.1 のような形状をしており、単一で空間充填可能な形状の中で表面積が小さく安定な幾何構造として知られており、泡のセル構造に多く見られる。

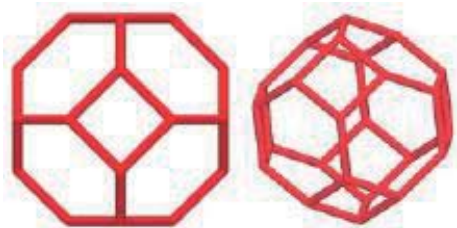


Fig.1 Kelvin14 面体構造

2.2 試験サンプル

サンプルサイズは 30mm 角の立方体とした。試験時の挙動を観察し易くするためセル構造径は実際のポリウレタンフォームより大きく 10mm とし、サンプル内に 27 個 (3x3x3) 配置される。骨格太さは 0.8mm, 1.0mm, 1.2mm, 1.5mm の4水準各1個ずつ設定した (Fig.2)。

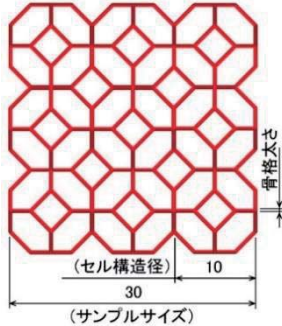


Fig.2 試験片の構造とパラメータ

既存ポリウレタンフォームと比較するため、自社製で硬度水準の違う6種類の配合処方サンプル (ウレタン A~F) を 100mm 厚の元サンプルから 30mm 立方体に切出して作成した。また、肉厚方向のばらつきを考慮し、厚さ方向の上中下からそれぞれ1個ずつ3個のサンプルを配合処方毎に用意した。今回使用したサンプルの外観写真を Fig.3 に示す。

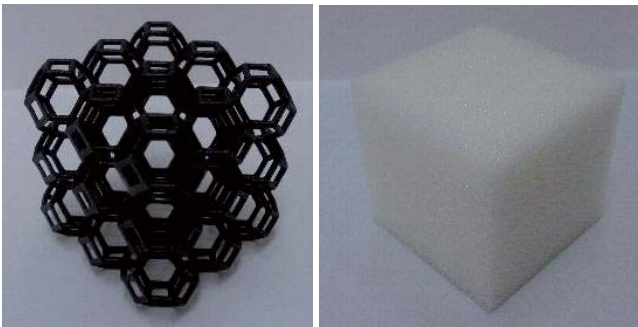


Fig.3 試験片外観

(左: 3D プリント造形品, 右: ポリウレタンフォーム)

2.3 造形

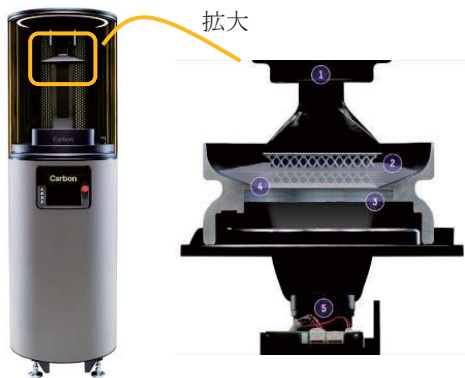


Fig.4 使用した 3D プリント Carbon 社『M2』
(左: 全体像, 右: 造形室の拡大図)

造形には Fig.4 に示す米国 Carbon 社製 3D プリント『M2』⁵ を用い、樹脂は EPU (Elastomeric Poly Urethane) を用いた。

3. サンプル計測

測定方法は 2020 年度 4DFE 発表に基づく手法⁶を用いた。3D プリント造形と自社製ポリウレタンフォームサンプルに対し、サンプルの密度とともにヤング率の計測を行った。Fig.5 に装置および試験の様子を示す。

3.1 計測機器

計測は押し込み型硬さ試験機、YAWASA MSES-5012-1-SL (テック技販, 京都) と電子天秤 (エー・アンド・デイ社, EW-1500i), 電子ノギス (Mitutoyo, CD-15AX) を用いて行った。

3.2 計測条件

標本は平坦な面の上に乗せられ、圧力センサーに球面上のプロブ (外径 20mm) を取り付け、この状態から、0.5mm/s の一定速度で、標本の中央部に対して 2N に達するまで荷重をかけた。Fig.5 では、計測前の造形サンプルと最大荷重付近での変形を示す。また、造形物の密度は、電子天秤を用いて造形物の重量を測定し、外形寸法を電子ノギスで測定した三辺より体積を求め、空隙を含んだかさ密度を算出した。

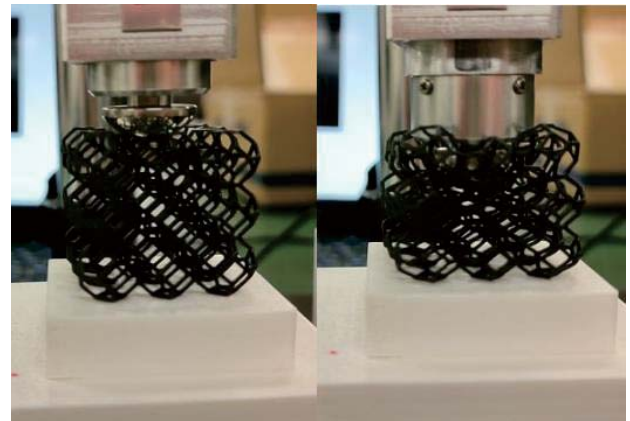


Fig.5 テック技販社『YAWASA』測定装置と試験の様子
(左: 計測開始時, 右: 最大荷重付近)

3.3 ヤング率算出方法

各 3D プリント造形サンプルおよび自社製ポリウレタンフォームサンプルに対して 5 回ずつ測定実験を行い、線形領域が保たれる 0.5-1.5N の計測区間を用いてヤング率を算出し、平均値を計測結果とした。

4. 計測結果と考察

測定実験より得られたサンプル密度-ヤング率プロットを Fig.6 に示す。ポリウレタンフォーム (図中ウレタン A~F) の密度は約 40~90[kg/m³]、ヤング率は 10~

110[kPa]の範囲で分布しており、サンプル切出し位置に応じてばらつきを持つことも確認できた。3D プリント造形サンプルの密度は 40~140[kg/ m³]で骨格太さに準じて増加、ヤング率は 4~90[kPa]で概ね密度に対して線形に増加した。

既存ポリウレタンフォームに比べ3D プリント造形品は低ヤング率で、より低硬度のクッション材を実現できる可能性が示唆された。また、骨格をより太くすることで、高硬度域も実現可能と考える。さらに、1つの構造体の中に複数種類の硬度を持つ形状を任意に分布させることも可能であり、クッション材の機能向上や設計自由度向上も期待できる。

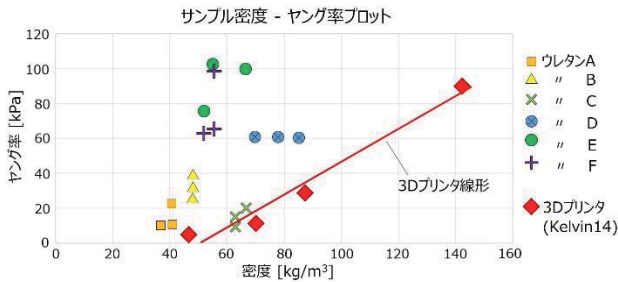


Fig.6 サンプル密度-ヤング率プロット

Fig.7 に今回の測定結果を 2020 年度 4DFF 発表⁶で示された Ashby Map に追加した図を示す。ポリウレタンフォームは図中赤枠の領域で、既存 Foams 材の低ヤング率領域と近いことが確認された。また3D プリント造形品は図中青枠の領域であり、今回の試験方法では4サンプル中3つが低ヤング率側でフォーム材料の領域から離れていることが確認できる。このことから今回設計した 3D プリントサンプルは従来のフォーム材料では再現できない密度とヤング率を持つことが分かり、新たな機械特性を持つ材料を設計しうることが Ashby Map を用いて確認できた。

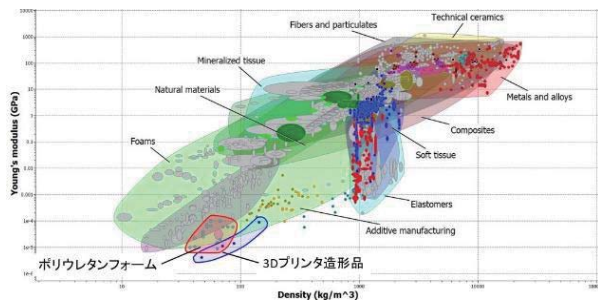


Fig.7 試験結果を追加した密度-ヤング率 Ashby Map

5. 結論

ヤング率計測の結果により、3D プリント製クッション材がポリウレタンフォーム同等の特性を再現できるとともに、これまで得られなかった特性を実現できる可能性が示唆された。研究結果の Kelvin14 面体適用事例として、Fig.8 に示す着座可能な 3D プリント製クッション材によるレーシングシートを作製した。

本報告内容は弾性域のヤング率のみだが、クッション材の特徴を表す機械特性は幅広く、ヤング率の他にも座屈域・ヒステリシスロス・動的特性など様々な指標で表される。研究結果の一部は新たな価値を測る試験方法の提案、および各特性を利用した製品開発やその普及に貢献するものと考えられる。



Fig.8 Kelvin14 面体を用いたレーシングシート (着座面全てのクッション材が 3D プリント造形品)

参考文献

1. adidas, "4DFWD: DATA-DRIVEN 3D PRINTED PERFORMANCE TECHNOLOGY DESIGNED TO MOVE YOU FORWARD", <https://news.adidas.com/running/4dfwd--data-driven-3d-printed-performance-technology-designed-to-move-you-forward/s/514baddb-1029-4686-abd5-5ee3985a304a/>, accessed 2021-09-23.
2. CARBON, "Riddell Partners with Carbon® to Produce First-Ever 3D Printed Football Helmet Liner", <https://www.carbon3d.com/news/press-releases/riddell-carbon-produce-football-helmet/>, accessed 2021-09-23.
3. Fizik, "Adaptive-3d Printed Road Bike Saddle", https://www.fizik.com/eu_en/drops/adaptive.html, accessed 2021-09-23.
4. M. Ashby, "Designing Architected Materials", Scripta Materialia, 68(1), pp. 4-7(2013). <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2012.04.033>, accessed 2021-09-23.
5. Carbon, "M2 3D プリント", <https://jsr3dprint.com/carbon3d/hardware/424/>, accessed 2021-09-23.
6. 岡崎太祐, 浅野義弘, 櫻井智子, 常盤拓司, 仲谷正史, 田中浩也「Ashby map を用いた 3DPrint 可能な architected structures の特性把握」 Conference on 4D and Functional Fabrication 2020, OP-02