

環境効果の主観的印象と材料強度に対する素材感の影響

Influence of material texture on subjective impression of sustainable effects and material strength

湯浅 亮平¹, 都賀 美有紀², 破田野 智己², 長田典子², 高橋 昭人³, 田中 浩也⁴

Ryohei YUASA¹, Miyuki TOGA², Tomoki HATANO², Noriko NAGATA², Akito TAKAHASHI³, Hiroya TANAKA¹

¹慶應義塾大学大学院, ²関西学院大学, ³株式会社 放電精密加工研究所, ⁴慶應義塾大学

¹Keio University Graduate School ²Kwansei Gakuin University ³Hoden Seimitsu Kako Kenkyusho Co.,Ltd. ⁴Keio University

【要約】

ものを構成する素材や表面の素材感によって、その素材がどれだけ環境に良いと感じるか(主観的なサステナビリティ感)と、実際にどれだけ環境に良いか(客観的なサステナブル度)には乖離があることが知られている。本論では、複数の素材に対し、感性工学的手法で得られる主観的な心理評価と力学特性による客観評価を組み合わせ、それぞれに与える影響の把握と、それらのバランスが取れた素材を選択するための手法について総合的に論ずる。感性評価の結果から、滑らかで重い感じがする素材感やデザインの実現が「長く使える」というサステナビリティ感の向上に寄与するという結果を得た。素材の強度評価においても、表面が滑らかなサンプルが、表面に凹凸など粗さがあるサンプルより高強度であり、主観的なサステナビリティ感の評価に対応する結果であった。これらから、素材感と耐久性とのバランスを適切に取ることにより、主観・客観評価共に向上できる素材デザインの方向性が得られた。

キーワード: 素材感, 感性評価, 強度評価, 3D プリント

【Abstract】

It is known that there is a discrepancy between how much people subjectively perceive sustainability and how much they objectively perceive sustainability depending on the surface texture of environmentally friendly materials. This paper comprehensively discusses a method for selecting a formulation that balances the two by combining the psychometric evaluation obtained by the Kansei engineering method and the objective evaluation based on mechanical properties for a plastic compounded with a natural material. From the results of the psychometric evaluation, it was found that the realization of material impressions and designs with a smooth and heavy feel contributes to the improvement of the sense of sustainability in terms of 'long-lasting use'. In the evaluation of material strength, smooth surface materials were stronger than materials with roughness such as uneven surfaces, a result that corresponds to the subjective evaluation of the sense of sustainability. From these results, a direction for material design that can improve both subjective and objective evaluations was obtained by balancing texture and durability.

Keywords: Materials texture, Sensory evaluation, Strength evaluation, 3D printing

1. 序論

近年、樹脂を用いたものづくりにおいて、バイオプラスチックや自然由来素材配合などをファイラー素材として活用した環境対応製品が多く発表されている。それらは樹脂成分を天然物で代替したことによる製造時・焼却時の CO2 排出抑制などの環境効果と、通常の樹脂製品にはない表面の風合いを得ることにより、消費者に対して環境に良い製品であるというイメージを与えることに貢献している。一方で、製品強度とファイラー素材の配合比率は、ファイラーの種類や形状によってはトレードオフの関係にあり、配合を誤ると素材の寿命を短く、環境負荷を高めてしまう可能性⁽¹⁾や、購買時などに消費者が抱く主観的な環境効果に対する印象は実際の環境効果に対してギャップがあり、製品分野によっては環境効果の高い製品が選ばれにくくなる可能性が指摘されている⁽²⁾。このため製品を計画する際には、強度などの性能や、CO2 排出抑制効果などの客観的な環境効果と、主観的な印象のギャップを設計者自身が十分に把握した上

で、なるべく両者を一致させるように配慮することが肝要である。本論では、感性工学的手法で得られる主観的な心理評価結果と力学特性評価によって計測される客観評価を組み合わせ、製品を構成する素材や表面の素材感が主観・客観評価それぞれに与える影響と、両者のバランスが取れた配合を選択するための手法について総合的に論ずる。

2. 実験

2.1 試料の準備と成形方法

感性評価、力学特性評価に用いる試料には、神奈川県鎌倉市で自治体により回収・再資源化された PP (ロットによって物性が変わる可能性がある) をベース樹脂とし、木の粉末の配合割合を変えて熔融混練(放電精密加工研究所社製、MF 式混合機を使用)した複合樹脂を用いた。試料の配合一覧を Table1 に示す。各試料を 3D プリント、プレス成形により加工し、感性評価用サンプルを制作した。強度評価用サンプル

ルは、感性評価用サンプルから切り出して作成した。

Table1 試料一覧

No.	ベース樹脂	木粉比率(%)	木粉粒径(μm)
①	再生PP	50	500
②	再生PP	30	500
③	再生PP	10	500
④	再生PP	50	178
⑤	再生PP	30	178
⑥	再生PP	0	-

2.1.1 3D プリントによる試料作成

ペレット式 3D プリント機 (エスラボ社製 GEM300SD、ノズル 3mm、積層ピッチ 2mm) を用いて、一辺 150mm の壁面からなる四角柱形状を造形し、各面ごとに切り出して 150*150 の正方形の板材を得た。肉厚は 4mm 程度となる様に調整した。

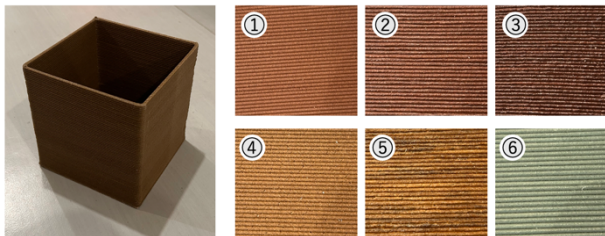


Figure1 3D プリントによるサンプル

2.1.2 プレス成形による試料作成

ペレット式 3D プリント機で造形した各試料をさらにプレス成形機 (放電精密加工研究所社製、ZENFormer, torque) にて、各試料を 150*150 の正方形の板材を得た。プレス成形においては、投入する材料の密度により出来上がりの板厚に差が生じ、3.48-7.29mm の範囲となった。

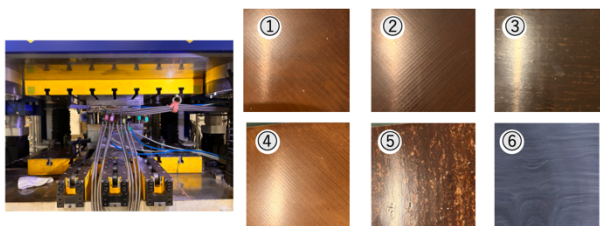


Figure2 プレス成形によるサンプル

3. 感性評価

各試料について、それらから感じる感覚[S]および印象[I]といった素材感と主観的なサステナビリティ感 (Sense of Sustainability)[SS]を心理尺度で測定し、素材感とサステナビリティ感の関係を感性工学的手法で明らかにする。

まず、試料の評価のための語の収集および選定を行い、感覚、印象、サステナビリティ感の 3 つの感性を評価語で測定する心理尺度を作成する。感覚と印象についての言葉は、試料を表現する言葉を自由に記述する実験で収集する。サステナビリティ感についての言葉は、さまざまなモノやサービスを対象にした消費者のサステ

ナビリティ感の評価の構成要素⁽³⁾から抽出する。いずれも語が試料の評価に相応しいかどうかの適合度評価実験と、網羅的で偏りのない評価語を選出するための意味の類似度測定実験を行う。

その後、作成した心理尺度を用いて各試料の感性評価を行い、感覚、印象、サステナビリティ感の下位因子および関係を検討する。

3.1 実験方法

3.1.1 実験参加者

心理尺度作成のための自由記述実験・適合度評価実験・類似度測定実験は各試料について既知の 4 名に実施した(男性 4 名、平均年齢 25.6 歳、 $SD = 6.6$)。各試料の感性評価実験は初めて試料を見る 5 名に実施した(男性 3 名、女性 2 名、平均年齢 24.6 歳、 $SD = 1.0$)。

3.1.2 材料

2. 実験で作成した 6 種の試料を用いた。実験はいずれも Web アンケートフォームを用いた。

3.1.3 実験手続き

実験参加者には、各試料を表現する感覚や印象の語をできるだけ多く挙げることを求める自由記述実験を行った。先行研究から抽出したサステナビリティ感の語と合わせて、試料を評価する言葉として適しているかについて 7 段階での回答を求める適合度評価実験を行い、適合度の高い語を選定した。実験参加者でない 3 名が合議により自由記述で得られた語を感覚と印象の 2 つに分類した。実験参加者に感覚、印象、サステナビリティ感のそれぞれについて似た語のグループに分ける類似度測定実験を行った。類似度の分析から感覚・印象・サステナビリティ感の 3 つの尺度を作成した。

実験参加者に 6 つの試料を実際に提示し、見た目が 3 つの尺度の評価語にどの程度当てはまるかを 7 段階で問う感性評価実験を行った。

3.2 結果

3.2.1 心理尺度の作成

自由記述実験で収集した感覚と印象に関する語は 103 種であった。サステナビリティ感は、その構成要素⁽³⁾から、出現頻度や他の要素と結びつきの強さについての値 (Katz centrality) の上位 20% を基準に 90 語選出した。これらを用いた適合度実験の結果で参加者の中央値が 5.0 以上の語を基準に選出した。

類似度測定実験の結果から、同じグループに属する語のペアには 0 をそうでないペアには 1 を割り振り、距離データとした。全体の傾向を見るために参加者の平均を対象にした多次元尺度構成法(MDS, PROXSCAL)により各語の座標を推定した。適合度(Stress-1)は、感覚が 0.28、印象が 0.24、サステナビリティ感が 0.26 といずれも高くはなかったが、結果が十分に解釈できたため二次元を採用した。座標を用いた階層的クラスタ分析(Ward 法)を行った結果、感覚は 7、印象は 6、サステナビリティ感は 6 クラスタに分類できた。各クラスタから半数

を目安に評価語を選定した。感覚は 17 語、印象は 13 語、サステナビリティ感には 21 語が選出された (Table2: 質問項目)。

3.2.2 感覚・印象・サステナビリティ感の評価実験

感覚、印象、サステナビリティ感のそれぞれで探索的因子分析を行った (最尤法、プロマックス回転) 結果、感覚は 3、印象は 4、サステナビリティ感には 6 因子が抽出された (Table2)。

Table2 3D プリントとプレス成形板材の心理尺度

因子名	質問項目 (*逆転項目)		
感覚[S]	粗さ感[S1]	ゴツゴツしている	サラサラしている*
		ザラザラしている	パサパサしている
		すべすべしている*	ぼろぼろしている
		凹凸感がある	表面が不均一だ
軽さ感[S2]	ツルツルしている*	重い感じがする*	ペラペラしている
		軽さを感じる	冷たい*
光沢感(-)[S3]	つやがない	光沢がない	テカテカしている*
		高級感のある	脆そう*
印象[I]	高級感[I1]	安そう*	
		滑り感[I2]	表面が滑りそう
	丈夫さ[I3]	清潔だ	乾燥感のある*
		丈夫そう	ナチュラルな*
人工的[I4]	重厚感を感じる		
	工業的だ	マットな	
サステナビリティ感[SS]	長く使えない[SS1]	粒子感がある	
		必要性がなさそう	大量に廃棄されそう
		長く使えそう*	利用者が限定されそう
		需要がありそう*	コストがかかりそう*
コスト削減[SS2]	生活が豊かになりそう*	老朽化しそう	
	ゴミが出そう		
環境問題への意識[SS3]	コストが削減できそう	他に代わりになる物や技術や手段がありそう	
	大量に生産されそう	リサイクルできそう	
資源の無駄遣い[SS4]	環境問題を意識しそう	地域に寄り添っていそう	
	環境を汚染しそう*		
作りすぎない[SS5]	資源が無駄遣いされそう		
	生産数が調整できそう	安定的に獲得できそう	
利便性[SS6]	廃棄物が減りそう		
	利便性がありそう		

成形方法および木粉比率によって感じ方に違いがあるのかを調べるために、因子ごとに因子得点 (Figure3) を用いた二要因参加者内分散分析 (2: 成形×6: 木粉比率) を行った。粗さ感[S1]、光沢感(-)[S2]、滑り感[I2]、人工的[I4]は木粉比率に関係なく成形方法によって有意差が示された (光沢感のみ $p < .05$, 他 $p < .01$)。サステナビリティ感[SS1]のどの因子でも成形方法および木粉比率によって有意差は示されなかった。

どのような感覚や印象がサステナビリティ感につながるかを検討するために、それらの相関を算出した。その結果、荒さ感[S1]、軽さ感[S2]、高級感[I1]のそれぞれと長く使えない[SS1]との間に中程度の相関が示された ($r = .56, .45, -.59$, 全て $p < .01$)。荒さ感[S1]、軽さ感[S2]は高級感[I1]との間にも中程度の相関があったため ($r = -.55, -.59$, 全て $p < .01$)、疑似相関である可能性を検討するために粗さ感[S1]・軽さ感[S2]を制御変数とした高級感[I1]と長く使えない[SS1]の偏相関を算出したところ、 $r = -.28$ ($p < .01$)と相関の値が低下した。

3.3 考察

成形方法や木粉比率によって違いがあると感じる感

覚や印象はあったが、サステナビリティ感については違いを感じていなかった。したがって、自然素材を配合するだけではなく、サステナビリティ感を喚起させる素材感のデザインが重要と指摘できる。

高級感[I1]と長く使えない[SS1]との相関は粗さ感[S1]・軽さ感[S2]による擬似相関の可能性がある。すなわち、長く使える[SS1]と高級感[I1]は独立的に粗さ感[S1]・軽さ感[S2]の影響を受けるといえる。すなわち、滑らかで重い感じがする環境対応素材の実現が、長く使えるというサステナビリティ感と高級感をそれぞれに向上できるというデザインの方向性が得られた。

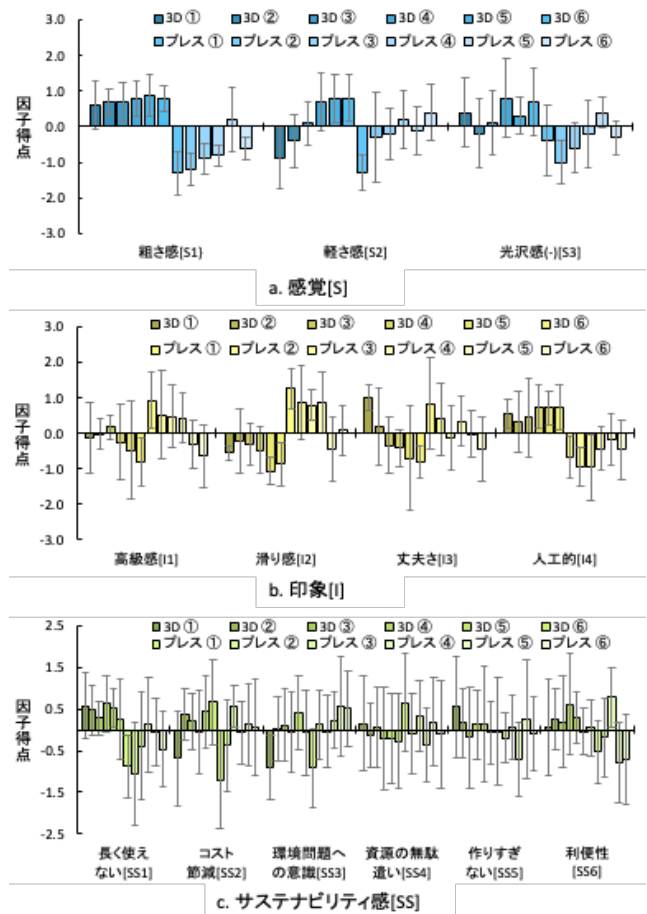


Figure3 各成形方法と木粉比率における感じ方

4. 力学的特性評価

4.1 曲げ試験

力学特性評価には、3D プリント製サンプルからの試験片形状切り出しの観点と、試験片表面性状による影響を結果に反映させるため、曲げ試験を採用した。曲げ試験は万能試験機 (AND 社製, TENSILON, RTG-1310) を用い、JIS 規格 (K 7171:2016) に則って実施した。ただし、厚さ方向寸法については、成形時のばらつきにより推奨試験片寸法 $4.0 \pm 0.2\text{mm}$ の範囲内がないものも含まれたため、試験片ごとに測定し、幅*厚みにて断面積とし結果算出に用いた。3D プリントによる試験片については、造形方向によって強度の異方向性が存在するため、積層時の XY 平面方向と、Z 高さ方向それぞれ試

験を実施した。積層により形成されるノッチ間寸法をデジタルノギスにて計測し、厚みとした。(Figure4)



Figure 4 ノッチ間寸法の測定

4.2 曲げ試験 結果と考察

曲げ試験結果を Table3 に示す。

Table3 曲げ試験結果一覧

No.	成形法	配合率 (%)	試験方向	曲げ応力 (Mpa)	ひずみ (%)
①	3D	50	XY	28.78	3.96
①	3D	50	Z	4.30	2.27
②	3D	30	XY	29.94	4.97
②	3D	30	Z	6.75	3.67
③	3D	10	XY	24.51	6.45
③	3D	10	Z	9.03	4.20
④	3D	50	XY	15.13	2.89
④	3D	50	Z	3.08	2.36
⑤	3D	30	XY	26.01	4.23
⑤	3D	30	Z	7.49	3.25
⑥	3D	-	XY	32.49	2.56
⑥	3D	-	Z	12.96	3.25
①	プレス	50	-	33.43	5.31
②	プレス	30	-	27.03	6.62
③	プレス	10	-	35.52	10.07
④	プレス	50	-	28.31	3.83
⑤	プレス	30	-	30.57	5.78

曲げ応力は、木粉比率による優位な差は見られなかったが、製法や 3D プリント試験の際の方向によって大きな差が見られた。プレス成形により製造されたものが、3D プリントと比較して 10-50%ほど曲げ応力が大きい。これは、プレス成形された試験片は表面が滑らかなことに対し、3D プリントによる試験片は表面に凹凸があることなどで応力集中が生じやすい、もしくは製造過程での積層間の融着不具合などが発生し結果に影響した可能性がある。また 3D プリントサンプルにおいては、XY 方向に対して Z 方向はそれぞれ、50%配合で 1/7、30%配合で 1/5、10%配合で 1/2.5 と、木粉比率に比例して差が大きくなった。ひずみに関しては、配合率、成形手法、3D プリント試験の際の方向によって大きな差が見られた。こちらでもプレス成形による試験片は 3D プリントによる試験片に対して、最大歪みが大きくなっている。木粉配合比率 50%と 10%について比較すると、製法と試験方向を同条件とした場合、50%配合が 10%配合に対して 1/2 程度となっていることから、より小さな変位で破壊が生じやすいと考えられる。(Figure 6)

これより、素材内の樹脂使用量低減のために木粉など自然由来素材を配合する場合に、一定以上の配合量では素材の耐久性を下げ製品の耐用年数を短縮させてしまう可能性を指摘できる。このため、製品の想定使用期間や、対応が必要な負荷を確認した上で適切な

配合割合を選択する必要があることが示唆された。

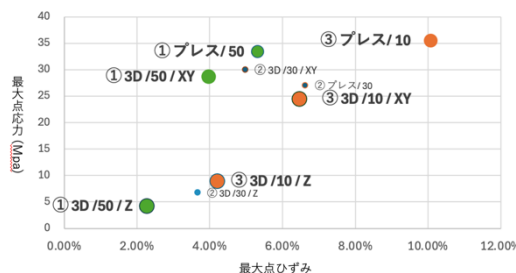


Figure6 木粉配合と製法と曲げ強度の対応

5. 結論

心理評価からは、試料間でのサステナビリティ感の差は統計的には示されなかったが、滑らかで重い感じがすると、長く使え、高級感のある印象を高めることが示唆された。

素材の強度評価においても、プレス成形による表面が滑らかな試験片が、3D プリントによる表面に積層由来の凹凸がある試験片より曲げ応力、最大ひずみ共に大きくなる傾向が見られ、心理評価による素材感と主観的なサステナビリティ感の関係に対応する結果であった。人は物を見る際、素材感の印象からその素材が長く使えそうか否かを、主観によつて的確に見抜いていることが示唆された。また、素材開発の際には、樹脂材料使用削減のために、むやみに高い自然素材配合比率を求めるのではなく、耐久性とのバランスを取ることが、主観的にも消費者に選ばれやすい製品作りにつながる可能性も示唆された。

謝辞

本研究は、JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2111 の支援を受けたものです。

参考文献

1. S. Hikasa, K. Kouka, "Influence of Filler Incorporation on Mechanical Properties for Polypropylene/Elastomer/Filler Ternary Composite," *Kobunshi Ronbunshu*, 71, 263-271 (2014)
2. D. N. Steenis, E. van Herpen, A. I. van der Lans, N. T. Ligthart, & M. H. C. van Trijp, "Consumer response to packaging design: The role of packaging materials and graphics in sustainability perceptions and product evaluations." *Journal of Cleaner Production*, 162, 286-298 (2017)
3. M. Toga, M. Sugimoto, Y. Yamazaki, T. Hatano, N. Nagata, H. Fukuda, K. Takata "Comparison of sense of sustainability and premium components in Japan: A study using the evaluation grid method". *International Conference of Serviceology 2023 (ICServ2023)*, O3-03 (2023)