

令和元年6月10日現在

機関番号：54601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12517

研究課題名（和文）物体の力学的表情による印象形成過程の解明（ディープラーニングによる実証的考察）

研究課題名（英文）Elucidation of impression formation process in concept of "expression in mechanics sense": An empirical study utilizing a deep learning approach

研究代表者

平 俊男（HIRA, Toshio）

奈良工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：60280426

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：一般にデザインの過程では、人のセンスが強調される。しかしながら、対象物の印象には、力学的合理性のような客観的側面も影響を与えていることも明らかである。本研究では、人は物体内部の力学的負荷を直観的に把握しているとの仮説のもとに、その際に人が潜在的に認知しているものを「力学的表情」と呼ぶことを提案した。陶磁器カップを対象として、深層学習に基づくキャプション付けを、それらの形状特徴と力学的特徴との関連付けに用いる方法論を示し、キャプション付けで得られるスコアが、形状の力学的合理性の指標として用いることが可能であることをケーススタディにより示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人が物体の形状から受ける印象の説明には、センスや感性といった属人的な側面が強調されることが多い。一方で「機能美」の概念のように、構造形態・形状の力学的な妥当性が美しさとして表出するとの考え方も古くから語られている。しかしながら、このような概念への言及は、評論的なものも多く、誰もがこれらを解釈し得る体系的な知識とはいえない。本研究で得られた形状特徴と力学的特徴との関連付けは、これまでの直観的な言及を、力学的感性の観点から客観的に再認識しようとする試みの一部である。このようなデザインの体系化は、人の創造的行為のさらなる理解につながるという意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：It is generally emphasized that the design process at the conceptual stage is highly dependent on the designer's individual sense. There are also, however, objective aspects, such as mechanical reasonability, that affect the subjective impression from an object. In this research, we hypothesized that the human designer intuitively sees the load level, such as mechanical stress, on the object without analysis. Furthermore, we proposed a concept of "expression in mechanics sense" perceived by the human designer. The term "expression" is a metaphor of human facial one and is a bridge connecting the sensory- and objective-aspect in the design process. In the case of pottery cup, we showed methodology utilizing the deep learning-based captioning in order to characterize the shape features and to associate with their mechanical rationalities. As a result, the category score output by the caption generator is available as a measure of the mechanical reasonability of the shape.

研究分野：設計工学

キーワード：形状の印象 力学的感性 力学的表情 感性情報学

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

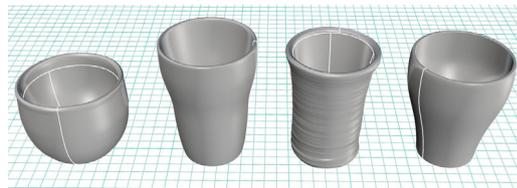
デザインに対する工学的アプローチは、従来から意匠に注力していた自動車業界のみならず、近年、幅広い展開をみせている。申請者らは、工学的設計における感性面に対する興味から、構造物の形態と印象の関連を設計支援に用いるアプローチを示してきた。この過程において、視覚的に示されていても、「力強い」「軽快」などの形容がみられ、物体内部の仮想的な力学的負荷のばらつきから印象を説明できることを示した。このことから、人が物体を見ている時、その物体の力学的負荷が心象的に見えているのではないかと、という着想を得た。しかし、当時は力学的負荷を平均や分散などの少数の代表値に落とし込む必要があり、十分な考察が行えなかった。一方で、機械学習分野のブレークスルーとして、特徴量抽出などの前処理を必要としないとされるディープラーニング(深層学習)が2012年頃から注目を集めている。この手法は、力学的負荷を代表値で表現せずに、空間的パターンとして直接に印象と関連付けられる可能性を持つ。この関連付けは、デザイン方法論においてこれまで直観的に述べられていた知識の客観的な再認識となる。さらに、優れた実務者による印象形容との差異を考察することで、人による創造的行為を理解するという意義を持つ。

2. 研究の目的

本研究では、製品の形状から印象が形成される過程において、その製品内部の力学的負荷の空間的分布のパターンが、人には「力学的表情」として認知されているとの仮説をたてている。この力学的表情は、物体の形態や形状と印象とを関連付ける中間的媒介とみなせるものであり、この関連を探るためには、人が他人の表情を認識する場合と同様に、対象のどの部分(人の表情の場合は「眼」「口」など)を注視しているか、それらをどのようにパターンとして把握しているかなどを明らかにすることを目的とする。

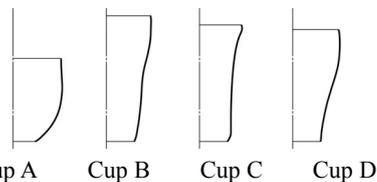
3. 研究の方法

形状とその形容の関連付けにあたり、様々な観点からその印象が語られることの多い陶磁器カップ形状を例としてとりあげる。

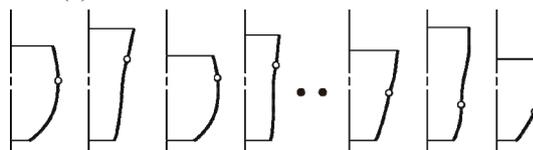


(1) 多様な感性サンプルの創成

既存の陶磁器カップの形状は、感性サンプルとして用いるには非常に限られたものとなる。なかでも、ネガティブな印象(たとえば「鈍重」)を持つと予想され、実物としては実現されにくい形状に注目し、そのような感性サンプルを含む多様な新規形状の創成手法の検討を行った。図1(a)に示すように、まず、複数の既存容器形状を3次元スキャナによって計測する。次にそれらの輪郭曲線を容器間で相互に部分的に交換し、新規形状を進化計算的に創成する(図1(b))。これらの新規形状を図1(c)のようにレンダリングすることによって写実的な画像を得る。



(a) 3次元計測された既存カップ形状



(b) 輪郭曲線の交叉による新規形状の創成



(c) レンダリングされた新規形状の例

(2) キャプション付けによる形状評価

既存の学習済みの深層学習モデルをブラックボックス的に用い、様々な形状を示した画像を入力として与え、それらに対するキャプション付けの結果の利用を検討する。たとえば、陶磁器カップを想定した形状(実在しない)の画像に対して、それがカップの画像であると深層学習モデルがどの程度で認識するのかが、その形状のもっともらしさを推定する手がかりとなる。

ここでは、画像に対するキャプション付けの学習済みモデルとして、Microsoft Cognitive Servicesに含まれるComputer Vision APIを利用する。このAPIに対する入力画像には、前述の手法によって創成されたレンダリング画

図1 既存形状に基づく多様な形状の創成

像 120 枚を与える。この API は図 2 に示すように、与えられた画像に対するカテゴリ（この画像では “drink”）とそれに対するスコア、画像に対するタグ (cup, coffee など)、キャプションとスコアを出力する。



図 2 キャプション付けの出力例

(3) 形状の力学的評価

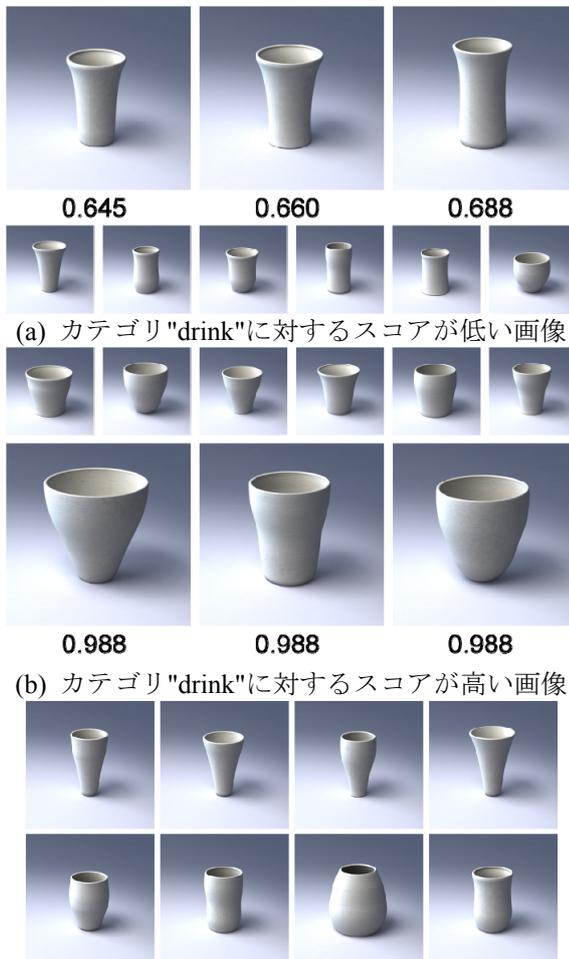
創成されたカップ形状の力学的評価にあたっては、生成された輪郭曲線の半径方向に厚みをつけた輪郭曲線と底に相当する領域を軸対称モデルとして扱い、線形弾性有限要素解析を行う。境界条件は、底部分の垂直方向の変位拘束と、内面に対する圧力である。このとき、対象物は仮想的な線形弾性体としているため、得られる応力値は相対的な意味合いのみを持つ。ここでは、断面内の相当応力分布に注目する。

4. 研究成果

図 3 は、API に与えた 120 枚の形状画像のうち、カテゴリ “drink” とされた 112 枚の画像から、スコアの最小値および最大値に近かったものを抜粋し順に並べたものである。このスコアはブラックボックス的に得られるため、妥当性の検証は行えないが、スコアの小さな形状には外側に反るような輪郭曲線を持ち、大きな形状には S 字形の輪郭曲線を持つという特徴がみられた。一方で、カテゴリ “others” とされた形状画像 (図 3(c)) には、共通の形状特徴は特にはみられなかった。

図 4 は、カップ形状の力学的特徴として、カテゴリスコアが高い形状と低い形状についてそれぞれの応力コンター図を示している。これらからは、高いカテゴリスコアであった形状 (b) では底部内外周部に大きな応力値が集中しており、低いカテゴリスコアであった形状 (a) では側面に広く応力が分布していることがわかる。このような力学的特徴は、応力分布の尖度と歪度に対称的に表れている。また、同様の傾向が他の形状にもみられた。図 5 は、カテゴリ “drink” に対する各形状のスコアと、その力学的特徴量の一つである歪度の関係を示している。この図では 112 の形状のうち、カテゴリスコアが上位と下位それぞれ 5 個体と、順位 6~107 位の個体から等間隔に抽出した 5 個体の計 15 個体を示している。カテゴリスコアと歪度に明確な関係はみられないが、歪度が高い、すなわち応力が偏った分布を示すカップ形状は、カテゴリスコアが高いことがわかる。

図 6 は、形状の力学的特徴量である応力分布の尖度、歪度について、カテゴリが “drink” に分類された生成形状 (記号○青色)、実在形状 (記号○緑色) と、カテゴリが “others” に分類された生成形状 (記号□) をプロットしたものである。この図からは、実在形状の応力分布の歪度はいずれも負であり断面内で高い応力への偏りが大きいこと、尖度は小さな値であることがわかる。また、尖度、歪

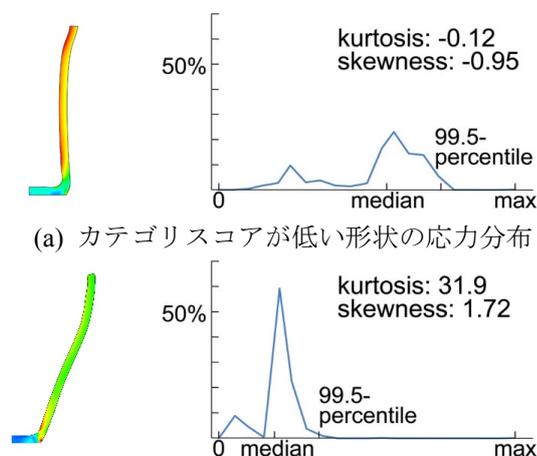


(a) カテゴリ “drink” に対するスコアが低い画像

(b) カテゴリ “drink” に対するスコアが高い画像

(c) カテゴリ “others” とされた画像

図 3 カテゴリとスコアによる分類



(a) カテゴリスコアが低い形状の応力分布

(b) カテゴリスコアが高い形状の応力分布

図 4 カップ断面内の応力分布

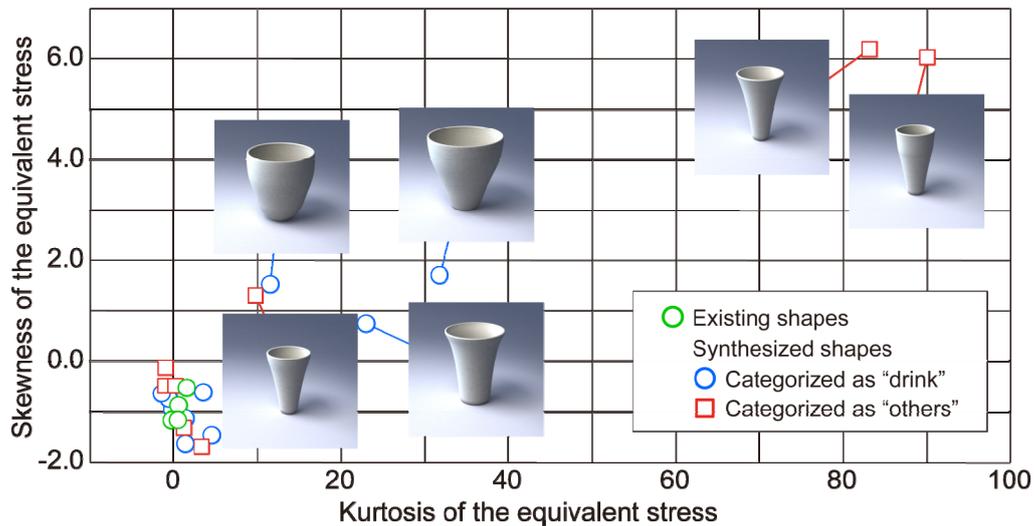


図6 力学的観点からみた形状の分布

度ともに非常に大きな値をとり、非合理的な力学的特徴を持つと考えられる形状は、キャプション付けにおいてカテゴリ“drink”とは分類されなかったことがわかる。これらのことは、形状に対するキャプション付けの結果が、形状の力学的特徴をある程度分類可能であることを示すものである。

今後の課題としては、画像認識時の着目を明らかにすることが挙げられる。

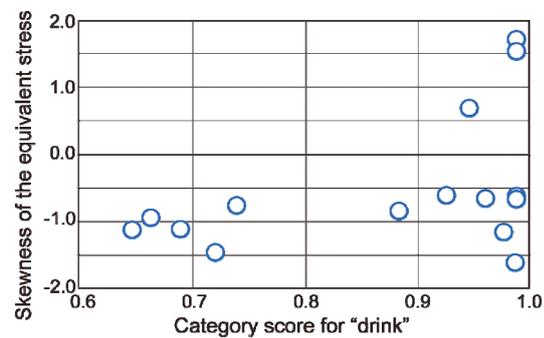


図5 カテゴリ“drink”に対するスコアと歪度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ①平 俊男, 力学的負荷の空間的パターンに注目した物体の「力学的表情」, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 査読無, 53号, 2018, pp.1-7.
- ②平 俊男, 力学的表情に関する一考察, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 査読無, 52号, 2017, pp.1-4.

〔学会発表〕(計7件)

- ①平 俊男, 力学的感性に基づいた物体形状認知について, 日本機械学会関西支部第94期定時総会講演会, 2019.
- ②HIRA Tosio, A Consideration of “Expression in Mechanics Sense” : Concept and Case Study for Conceptual Design, 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2018), (査読有), 2018.
- ③平 俊男, 物体の「力学的表情」に基づく印象について, 日本機械学会2018年度年次大会, 2018.
- ④平 俊男, 物体の「力学的表情」について(印象と力学的負荷), 日本機械学会関西支部第93期定時総会講演会, 2018.
- ⑤平 俊男, 物体の「力学的表情」について(力学的負荷の空間的パターン), 日本機械学会第27回設計工学・システム部門講演会, 2017.
- ⑥平 俊男, 物体の「力学的表情」認識モデルの検討(深層学習によるアプローチ), 日本機械学会2017年度年次大会, 2017.
- ⑦平 俊男, 物体の「力学的表情」認識モデルの検討(多様な感性サンプルの生成), 日本機械学会関西支部第92期定時総会講演会, 2017.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。