

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12540

研究課題名（和文）深層学習を用いた顧客の感性評価に基づく創成型製品意匠設計

研究課題名（英文）Method for aesthetic design based on customer's kansei evaluation using deep learning

研究代表者

小林 正和（Kobayashi, Masakazu）

豊田工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40409652

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、顧客の感性評価に基づくデザイナーの知識・経験によらない意匠設計法の実現を目的として、深層学習を用いた製品意匠設計法の検討を行った。その結果、敵対的生成ネットワーク（GAN）や画像生成AIを用いて顧客の嗜好を反映した製品画像を生成する方法や、クラス活性化マッピング（CAM）や生成AIを用いて製品の意匠デザインと顧客の嗜好の対応関係を分析することで顧客にもっとも適した製品を生成する最適設計法など、多くの設計法を構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デザイナーの知識・経験に基づくのではなく、顧客の感性評価に基づく意匠設計を可能にする複数の設計法を提案することができた。これらの方法は、それぞれ特徴があり、状況に応じて使い分けることができる。深層学習を用いることで、製品意匠の人手による分析（前処理）を必要とせず、製品画像を画像のまま利用できる点も提案手法の利点である。また、この1、2年で急激に発展、普及した生成AIや画像生成AIを意匠設計に利用できることを示した点も本研究の意義の一つである。

研究成果の概要（英文）：To achieve aesthetic design that does not rely on designers but is based on customer Kansei evaluations, this research developed new aesthetic design methods based on deep learning techniques. As a result, many design methods have been developed, such as methods for generating product images that reflect customer preferences using Generative Adversarial Network (GAN) and image generation AI, and optimal design methods for generating the products that best suit customers by analyzing the relationships between product aesthetic design and customer preferences using Class Activation Mapping (CAM) and generative AI.

研究分野：感性工学

キーワード：感性工学 意匠設計 敵対的生成ネットワーク 生成AI クラス活性化マッピング 最適設計

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

科学・技術の成熟化に伴い、近年の製品開発では、性能や機能、コストの観点からの差別化は困難になってきており、意匠性や快適性などの人間の感性に評価を依存する品質による差別化が求められている。

感性工学の研究分野では、人間の感性という抽象的な対象を定量的に測定するための方法と、測定された顧客の感性に基づいて製品の意匠設計を行う方法が提案されている。後者の意匠設計法では、製品デザインを複数の意匠要素の組み合わせとして表現して各意匠要素の選択肢やパラメータの設定値を入力、定量的に測定された顧客の嗜好や製品から受ける印象を出力とする対応関係を、機械学習などを用いて分析・同定することで、未知の製品に対する顧客の嗜好や、その製品から受ける印象を推論する。そして、この同定された対応関係を用いて、顧客が好ましいと感じる、もしくは特定の印象を与える製品デザインを探索する。これにより、設計者の技量によらない意匠設計がある程度可能になったが、以下の2点については、未だ設計者に頼っているのが現状である。

- ・製品デザインの意匠要素への分解と、各意匠要素の選択肢の準備やパラメータの範囲設定
- ・最適な意匠要素の統合による製品デザインの創成

一方で近年、深層学習が注目を集めている。深層学習は、学習を通じて特徴量を自動的に抽出できるため、古典的な機械学習と比べて学習精度が利用者の技量に左右されにくく、また、時には利用者の想像もつかない特徴量が得られるという利点を持つ。また、CNNを用いた識別・予測だけでなく、学習により自動的に抽出された特徴量を分析する方法や、GANと呼ばれる、既存の画像を入力として、それらの画像と見分けのつかない新しい画像を生成する方法、超解像など、様々な手法が提案されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習を用いた設計者によらない、顧客の感性評価に基づいた意匠設計法の実現である。感性工学における深層学習の利用としては、既存製品の画像とその製品に対する顧客の嗜好を学習させることで、未知の製品に対する顧客の嗜好を推論する研究や、GANを用いて既存製品の画像から新しい製品の画像を生成しようとする研究がある。しかしながら、前者は単純に顧客嗜好を推論するものであり、後者についても、得られる製品画像は不鮮明かつ無意味なものや解釈の困難なものが多く、主に設計者にインスピレーションを与える道具として用いられているのが現状である。

これに対して本研究の独自性と創造性は以下の2点である。

- ・顧客の感性評価に基づくことで、顧客に特定の印象を与え、かつ顧客が好ましいと感じる製品デザインを生成することができる
- ・設計者による解釈を必要としない、明瞭で詳細な製品デザインを生成することができる

3. 研究の方法

上記の目的を実現するために、本研究では以下に記す4つの意匠設計法の構築を行った。

- (1) 顧客の感性評価に基づく敵対的生成ネットワーク(GAN)を用いた製品意匠創成
- (2) 顧客の感性評価に基づく画像生成AIを用いた製品意匠創成
- (3) クラス活性化マッピング(CAM)に基づく顧客嗜好の分析と製品意匠設計
- (4) 生成AIとラフ集合理論を用いた顧客嗜好分析と最適意匠設計

4. 研究成果

- (1) 顧客の感性評価に基づく敵対的生成ネットワーク(GAN)を用いた製品意匠創成

敵対的生成ネットワーク(GAN)は、生成ネットワーク(generator)と識別ネットワーク(discriminator)の2つのネットワークから構成され、generatorは入力画像と区別のつかない画像を生成できるように学習し、discriminatorは入力画像とgeneratorが生成した画像を区別できるように学習することで、全体として、入力画像の特徴を再現した画像を生成することができる。本手法では、既存製品に対して顧客による嗜好評価(好きor嫌い)を行い、顧客が「好き」と評価した製品画像のみをGANに入力し、学習させることで、顧客の製品に対する嗜好を反映した製品画像を生成する。

適用例では、椅子を設計対象に6名の被験者に対して個別に提案手法を適用した。被験者は4735枚の椅子画像に対して、嗜好評価を行い、被験者が「好き」と評価した椅子画像を入力としてGANを学習させ、新しい椅子画像を生成した。GANによって生成された椅子画像に対して嗜好評価を行ったところ、「好き」と評価した割合は平均64.2%であった。最初の4735枚の椅子画像に対して「好き」と評価した割合は平均45.2%であり、本手法を用いることで、被験者の既存製品に対する嗜好評価の結果から、被験者の嗜好を反映した製品画像が創成できることが分かった。

- (2) 顧客の感性評価に基づく画像生成AIを用いた製品意匠創成

画像生成 AI は、拡散モデル (DM) の一種である潜在拡散モデル (LDM) に基づいて、プロンプトと呼ばれる文章表現を入力として、その表現と一致する画像を生成するシステムである。画像生成 AI では、適切な文章表現をプロンプトとして入力することで、実在の動物を掛け合わせた架空の動物や、実際に撮影された写真と見分けのつかない緻密な画像、アニメ風のイラストなど様々な画像を生成することができる。本手法では、画像生成 AI の一種である Stable Diffusion を用い 様々な感性語をプロンプトとして用いて様々な印象を持つ製品画像を生成する。そして、生成された画像に対して、顧客の選好 (好き or 嫌い) を評価し、顧客が「好き」と評価した製品画像を用いて追加学習を行うことで、顧客の選好を反映した製品画像を生成する。適用例では、椅子を設計対象に、4 名の被験者に対して個別に提案手法を適用した。また、提案手法によって生成された椅子画像と、感性語をランダムに選んで生成した椅子画像を混合して選好評価を行ったところ、提案手法によって生成された椅子画像は 4 名中 3 名から非常に高い評価が得られた。この結果から、提案手法は顧客の選好を反映した製品画像が生成できることが分かった。

(3) クラス活性化マッピング (CAM) に基づく顧客選好の分析と製品意匠設計

クラス活性化マッピング (CAM) は、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) がある推論を行った際に、入力画像内のどの領域が推論に重要な役割を果たしているかを分析する方法である。製品画像とその製品に対する顧客の選好 (好き or 嫌い) を CNN に学習させた場合、CAM を用いることで、顧客が製品のどの部位を好きと感じているのかを分析することができる。本手法では、これを利用して、既存製品の製品画像から顧客の顧客の「好き」と関連の高い製品部位を抽出、収集し、それらを組み合わせることでより顧客の好みに合った製品意匠を設計する。適用例では、椅子を設計対象に、3 名の被験者に対して個別に提案手法を適用し、被験者ごとに 5 脚の椅子を設計した。被験者ごとに設計された椅子画像と、ランダムに選択された既存の椅子画像を混合して選好評価を行ったところ、2 名の被験者は 5 脚中 4 脚を「好き」と評価し、1 名は 5 脚中 3 脚を「好き」と評価した。この結果から、提案手法を用いることで、既存製品に対する選好評価から顧客の「好き」と関連の高い製品部位を抽出、収集できること、そして、それらを組み合わせることでより顧客の好みに合った製品意匠を設計できることが分かった。

(4) 生成 AI とラフ集合理論を用いた顧客選好分析と最適意匠設計

生成 AI は大規模言語モデル (LLM) に基づいて、入力されたテキストに対する応答をテキストで生成するシステムである。また、テキストだけでなく、画像や音、動画など様々な入出力をサポートするマルチモーダルなシステムが研究、開発されている。本手法では、マルチモーダルなシステムの一つである Mini-GPT4 とラフ集合理論を組み合わせることで、製品画像からラフ集合理論の決定ルールを抽出し、それらを組み合わせることでより顧客の好みに最も適した製品意匠を設計する。適用例では、椅子を設計対象に、13 名の被験者に対して個別に提案手法を適用し、提案手法によって明らかになった顧客の好みに基づいて製品画像を生成した場合と、ランダムに製品画像を生成した場合を比較した。その結果、11 名の被験者で提案手法の有効性が確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kobayashi Masakazu, Kume Katsuyoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Design Generation Using Stable Diffusion and Questionnaire Survey	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Computer-Aided Design and Applications	6. 最初と最後の頁 859 ~ 868
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14733/cadaps.2024.859-868	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Masakazu Kobayshi, Pongsasit Thongpramoon	4. 巻 -
2. 論文標題 Generation of Product Design Using Gan Based on Customer's Kansei Evaluation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 9th International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2022	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5821/conference-9788419184849.35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, M., Fujita, S. and Wada, T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Aesthetic Design Based on the Analysis of Questionnaire Results Using Deep Learning Techniques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computer-Aided Design & Applications	6. 最初と最後の頁 602-611
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14733/cadaps.2022.602-611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小林正和, 久米克佳	
2. 発表標題 画像生成 AI を用いた意匠設計法の検討	
3. 学会等名 第33回設計工学・システム部門講演会	
4. 発表年 2023年	

1. 発表者名 小林正和
2. 発表標題 顧客の感性評価に基づく製品意匠設計
3. 学会等名 日本応用数理学会 第19回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Kobayashi, Yuki Orii
2. 発表標題 Optimal design of product aesthetics based on rough set theory and deep learning techniques
3. 学会等名 Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Kobayashi
2. 発表標題 Aesthetic Design Based on the Analysis of Questionnaire Results Using Deep Learning Techniques
3. 学会等名 CAD'21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------