

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02047

研究課題名(和文)人間と人工知能の連携による革新的デザイン発想創出の方法論および基盤技術の構築

研究課題名(英文)Methodology and Fundamental Technology for Innovative Design Ideation by Collaboration of Human- and Artificial Intelligence

研究代表者

村上 存 (MURAKAMI, Tamotsu)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：20212251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、革新的な発想の創出を支援する人間と情報技術(IT)、人工知能(AI)の協創の方法論と基盤技術について、設計上流の問題を計算機処理可能な形式にエンコードする(人間→IT、AI)方向と、機械学習やAIの処理結果を人間に解釈可能にデコードする(IT、AI→人間)、双方向アプローチの研究を行った。

具体的テーマとして、「機能・ユーザ体験の知識・情報の補強によるデザイン発想創出」、「計算機による想起の強化によるデザイン発想創出」、「非存在文の生成による新規の機能・ユーザ体験の発想創出」、「設計上流段階における機械学習結果の説明可能AIによる解釈」の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、製品(モノ、コト)の設計/デザインのプロセスにおける、「どう実現するか」よりも上流の「何を実現するか」の段階を対象として、人間の直感的な発想と、IT、AIなどの網羅的、系統的な情報の探索や生成の共創の方法論を示した点が、学術的意義である。それによって、よりよい生活や社会の実現、産業競争力の向上などにつながる革新的な発想が創出される可能性につながることで、社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：This study investigated methodologies and fundamental technologies for co-creation of innovative ideas between humans, information technology (IT), and artificial intelligence (AI), in the bi-directional approaches to encoding upstream design problems into a computable format (human → IT, AI) and decoding machine learning and AI processing results into a human-interpretable format (IT, AI → human).

The research results included "creation of design ideas by reinforcing knowledge and information about functions and user experiences", "creation of design ideas by enhancing human recall by computers", "creation of ideas for new functions and user experiences by generating non-existent sentences," and "interpretation of machine learning results in the upstream design stage by explainable AI."

研究分野：設計工学

キーワード：デザイン発想インフォマティクス 発想創出 協創的知能

## 1. 研究開始当初の背景

設計/デザイン分野では、製品(モノ、コト)を「どう製作、制作するか」よりも上流の、「何を製作、制作するか」の段階での革新的な発想が競争力の源泉となりつつある。近年の研究により、機械学習等の AI (artificial intelligence、人工知能) が人間と同等かそれ以上のタスクを実行できる可能性が、学術的にも実用的にも注目されているが、前述のような設計/デザインの上流段階で、AI は革新的な発想の創出にどのような役割を果たし得るか、そのためにはどのような基盤技術が必要か、を明らかにすることが、本研究の学術的背景、学術的「問い」である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、人間(human intelligence)と AI の双方向の連携により、設計/デザインの上流段階で革新的な発想を創出する方法論およびそのための基盤技術を構築することである。形状の最適設計等を計算機処理するためには CAD(computer-aided design)等の形状モデルデータが使用できるのに対し、設計/デザインの上流段階については計算機処理可能な問題記述形式が確立されていない。

そこで本研究では、構造(製品がもつ形状、材質などの性質)、挙動(構造により生じる物理現象)、機能(ある意図と目的による挙動の利用)、ユーザ体験(製品の使用によってユーザに生じる身体的・心理的反応)の語句表現により、設計問題を計算機処理可能な記述にエンコードする(人間から人工知能(AI)への連携)方法を提案する。さらに、機械学習などの結果を人間にとってブラックボックスでなく解釈可能な記述にデコードする(AI から人間への連携)方法を提案し、設計/デザインの上流段階における革新的な発想の創出を支援する、人間と AI の相互連携による協創的知能(collaborative intelligence)を実現するための方法論および基盤技術を構築することを、研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 機能・ユーザ体験の知識・情報の補強によるデザイン発想創出： 多数の特徴的な製品・サービス・技術の事例群をデザインマップとして収集し、それらが提供する機能とユーザ体験を、計算機処理可能な形式の文で記述する。一方、解決したい問題、発想を得たい問題として、やりたいこと、できなくて困っていることを、同様に計算機処理可能な形式の文で記述する。そして、IT、AI の系統性、網羅性により、機能、ユーザ体験と問題の潜在的な関連性を文の類似度や関係度など探索、提示する。提示された内容に人間の発想を加えることで、人間のみではできない質的、量的な発想を創出する方法論を構築する。

(2) 非存在文の生成による未知の機能・ユーザ体験の発想創出： (1)が拡張記憶に「存在する」ものの活用であるのに対し、本テーマではこれまでに「存在しない」ものを活用する可能性を考える。革新的な発想とは、既存の製品やサービスでは実現されていない新たな機能、ユーザ体験の探索であると考え、10 文型モデルに基づき、インターネット上に存在しない SVOCA の組合せの文を生成することで、未知の機能、ユーザ体験の発想を創出することを試みる。

(3) 設計上流段階における機械学習結果の説明可能 AI による解釈： 本研究では、設計/デザインに関係する問題に機械学習や AI を適用した結果から、人間が法則や知見を取得することを可能にするために、決定木学習と、回帰型ニューラルネットワークを対象として、機械学習・AI の処理結果に人間にとっての解釈性を与えるデコード技術を研究する。

## 4. 研究成果

### (1) 機能・ユーザ体験の知識・情報の補強によるデザイン発想創出

まず、発想創出のために人間の記憶を拡張することを模して、既存のさまざまな製品やサービスの機能、ユーザ体験のデータベースを構築する。結果として、196 の製品・サービスを選定し、合計で機能の文 345 種類、ユーザ体験の文 464 種類を記述した。

次に、現在解決したい問題 (= 外界からの新たな刺激) に対して、機能・ユーザ体験データベースを探索 (= 過去の記憶を想起) して試行することを模す形で、発想創出実験を行った。解決したい問題として、新型コロナウイルスのために、できないこと、やりたいこと、を例とした。

これら 3 つの文について和文と英文の 10 文型モデルの XML 記述を作成し、データベース中のすべての機能文、ユーザ体験文との類似度 (和文類似度と英文類似度の大きいほう) を計算し、各上位 10 文を取得した。各問題の文とデータベース中で最も類似度が高い機能・ユーザ体験の文およびそれをもたらず既存製品・サービス事例の 10 組を、実験協力者に提示して、その機能・ユーザ体験・事例から、何らかの新しい解決を思いついた場合は、その内容を簡潔に記入してもらった。以上の結果、問題 3 件 × 機能・ユーザ体験・事例 10 組 × 実験協力者 4 名 = 120 件の発想創出の試行において、新たな発想が 37 件あった。次に、その 37 件の解決案の新規性、有用性を 4 名に評価してもらい、案ごとに平均した。結果のうち評価が高かったものを表に示す。

Table Examples of inspired idea.

Problem sentence	(sim., order) Function / user experience sentence {Existing design(s)}	Inspired idea	Novelty / Utility
公共空間の点字から情報を読み取る。	(0.713, 2nd) ユーザが触覚を通して情報を得る。 {HapticTechnology, MidairHapticTechnology}	空中に非接触で指先に点字の感覚を生成する。	0.625 /1
	(0.658, 7th) ユーザが路面から触覚で歩行のための情報を得る。 {TactilePaving}	床に動的に点字を表示し足裏で読み取る。	0.875 /1
空間に殺菌剤を散布する。	(0.662, 1st) ユーザが香りがする排気ガスを大気中に放出する。 {FuelFragrance}	殺菌成分が入ったガソリンを供給し、自動車が排気ガスと一緒に殺菌成分を散布する。	0.5 /0.5
	(0.638, 4th) デザインが体内にワクチンを投与する。 {Vaccination}	小動物の体内に殺菌剤を注射して (動物には無害) その動物が勝手に歩き回ればそれが放出される。	0.875 /0.75
物体の表面のウィルスを除去する。	(0.761, 7th) デザインが窓ガラスの汚れを拭き取る。 {WindscreenWiper}	消毒ワイパー付きテーブル。	0.75 /1

この実験はデザイン上流段階の発想創出を意図しており、得られた発想の実現可能性などは条件としていないが、一定以上の新規性、有用性のある解決案が創出されたことから、本研究で提案する、デザイン上流段階での機能、ユーザ体験の計算機処理可能な記述形式、人間の発想における「外界からの新たな刺激」に対する「過去の記憶の想起」を模した、解決したい問題の文記述で機能・ユーザ体験データベースを探索するアプローチの、基本的な有効性、可能性を示すことができたと考える。

### (2) 非存在文の生成による新規の機能・ユーザ体験の発想創出

まず、EDR 電子化辞書に収録されている単語のうち、一般的でない語を文生成の語候補から除外する処理を加えた。具体的には、事前に Google Chrome による各語の検索ヒット件数を取得してデータとして保持し、名詞、動詞について検索ヒット件数が上位約 5000 語を一般的な語として文生成に用いる処理を行った。

次に、多義性を持つ単語で構成される文表現と多義性を持たない単語で構成される文

表現を生成することで、単語の持つ多義性が発想支援に及ぼす影響について考えるために、前記の出現性の高い単語群の中で単語の持つ意味が6以上の単語を多義性有の単語群として、単語の持つ意味が1つの単語を多義性無の単語群として抽出した。

そして、SVO文型のV、Oに前記の単語を割り当てて文表現を生成し、文表現を構成する単語の内、主語である「製品・ユーザ」を除く全て単語についてGoogle ChromeにてAND検索を行う。次に、検索結果の複数のwebページを参照し、ページ内のテキストについて、AND検索を行った全ての単語が同一文中に出現した回数をカウントする。そして、出現回数を参照したwebページ数で除したものの「存在性指標」として定義する。この指標が0の場合、その文表現は非存在性を有していると考えられ、存在性指標が0の文表現を探索することで、非存在文表現の探索を行う。

そして、「非存在文表現・多義性有」「存在文表現・多義性有」「非存在文表現・多義性無」「存在文表現・多義性無」の4条件の文表現を生成し、少数の被験者で各条件で生成された文表現をきっかけにして製品・サービス事例の発想を行う実験を行った。また、提示された文表現が発想創出にどの程度有効であったかについての評価も行ってもらった。結果として、「非存在文表現・多義性有」が有効であるという傾向が得られた。より多数の被験者による実験を行い、実験にて発想された製品・サービス事例のアイデアについて第三者が評価を行い、各条件で生成された文表現の発想支援への有効度を検証することが今後の課題である。

### (3) 設計上流段階における機械学習結果の説明可能AIによる解釈

設計問題としてバイク設計の上流段階である、走行の時「快」を実現する設計を対象とする。そのため、研究室で過去に行ったバイク走行実験のデータを採用する。この実験では被験者12人がコースで指定された速度で電動バイク2回、エンジンバイク2回ずつ走行する。走行は1回に平均90秒ぐらいかかった。その時、バイクと被験者の「加速度」、「姿勢角」などの特徴量及びライダーの「快」、「中立」、「不快」をリアルタイムで記録したデータである。本研究ではそのデータの中で、「気持ちよさ」の表現がよくできた7人及び相関が高い特徴量ペアで一方を除いて66個特徴量を分析対象とする。

本研究の対象となるバイク走行データは時系列データであり、その性質を生かして適切な学習手法を選択する必要がある。そのため、深層学習の中で、時系列性を学習のできる回帰型ニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network, RNN)を採用する。そしてRNN層の前に、時系列を縮めてRNNの処理に役立つ表現を抽出できる畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network, CNN)を配置する。CNNとRNNをそれぞれ2層ずつ重ねてモデルとする。

データは10Hzのサンプリングレートで記録され1回走行に約900個の時系列があり学習には20時系列ずつ刻んで1サンプルとして入力し、モデルはそのサンプルの最後の瞬間で「快」、「中立」、「不快」を予測する。被験者7人に対してそれぞれモデルを作成し、4回の走行中、3回は学習、1回はテストに使用した。

説明可能AI(eXplainable AI, XAI)としてLIMEとSHAPにデータサンプル一つにあたる20時系列×66特徴量=1320データポイントを入力すると、モデルの判断の影響度を1320個のポイントごとに出力する。このように出力された影響度行列が被験者それぞれモデルが「快」と正解予測をした数ほどある。それで全被験者にわたってどの特徴量が共通して影響を及ぼしたかを知るために人ごとの平均影響度行列を求め、特徴量ごとに時系列方向の平均を取り、時系列の特性をなくした66個特徴量の影響度を求めた。そして7人にかけて各特徴量の影響度の平均と標準偏差を求めた。

モデルの判断に影響が大きかった特徴量たちの「快」の瞬間で全被験者に対して共通の傾向を分析した。その結果、「加速の瞬間」と「速度がピークに達する直前」が、モデルがライダーが「快」を感じる原因と判断した。原因に対してバイクの設計で「快」を増加させる指針として下記のことを提示した: 1.サスペンションの最適化、2.スロットルの操作感・応答性向上、3.エンジン・モータによる振動を制御。

以上、設計問題としてバイク走行で「快」を感じる設計を選定し、深層学習で分析した。結果に対し、XAIを適用して原因分析を行い、設計指針を提示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 崔 ビヨム圭, 村上 存	4. 巻 88
2. 論文標題 機械学習を用いた設計上流段階支援に関する研究（エンジン及び電動バイク走行データからの「快」の要因抽出）	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.21-00230	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 村上 存, 久禮 達也, 松永 裕太	4. 巻 87
2. 論文標題 デザインの上流段階における機能・ユーザ体験記述の計算機処理によるデザイン発想創出の試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.21-00207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 村上 存	4. 巻 56
2. 論文標題 デザイン発想インフォーマティクスの試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本設計工学会誌	6. 最初と最後の頁 564-570
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 村上 存
2. 発表標題 構造・機能・ユーザ体験のデザイン差分マップを用いた製品×サービスの発想創出（ポストコロナ社会の実現に向けた応用の可能性）
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会講演論文集（先端技術フォーラム）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上 存
2. 発表標題 機能・ユーザ体験データベースによる発想インフォーマティクスの試み（ポストコロナ社会の実現に向けた応用の可能性）
3. 学会等名 日本設計工学会2020年度秋季研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崔 木凡圭, 村上 存
2. 発表標題 説明可能な機械学習を用いた設計に利用可能な情報抽出の試み
3. 学会等名 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷坂 佳祐, 吉見 勇人, 村上 存
2. 発表標題 デザイン差分マップを用いた製品×サービスの新規デザイン発想創出
3. 学会等名 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久禮 達也, 村上 存
2. 発表標題 機能・ユーザ体験の文表現を用いたデザイン発想支援の試み
3. 学会等名 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須 亮太, 村上 存
2. 発表標題 人の発想の独自性を生かした概念辞書による発散思考誘導の方法論
3. 学会等名 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tamotsu MURAKAMI
2. 発表標題 Design Ideation Using Delta Design Map of Structures, Functions and User Experiences
3. 学会等名 14th Virtual Congress WCCM & ECCOMAS 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上存
2. 発表標題 構造・機能・ユーザ体験の言語表現モデルを用いたデザインの発想創出
3. 学会等名 日本学術会議 第9回計算力学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉見勇人, 村上存
2. 発表標題 構造, 機能, ユーザ体験のデザイン差分マップによるデザイン発想創出
3. 学会等名 Designシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松元佑樹, 村上存
2. 発表標題 人間とコンピュータの連携によるデザイン発想創出のための既存革新デザインの回顧的発想解析の試み
3. 学会等名 Designシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉見勇人, 村上存
2. 発表標題 構造, 機能, ユーザ体験のデザイン差分マップによるデザイン発想創出 (デザイン分野をまたいだ応用発想の創出)
3. 学会等名 日本機械学会第29回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松元佑樹, 村上存
2. 発表標題 人間とコンピュータの連携によるデザイン発想創出のための既存革新デザインの回顧的発想解析の試み
3. 学会等名 日本機械学会第29回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上存
2. 発表標題 構造・機能・ユーザ体験のモデルに基づく設計
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会 (先端技術フォーラム) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MURAKAMI Tamotsu
2. 発表標題 Knowledge Management for Problem Solving Using Semistructured Contradiction Matrix Based on Physical Quantity Description
3. 学会等名 22nd International Conference on Engineering Design (ICED 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新田涼介, 村上存
2. 発表標題 デザイン差分マップによる発想支援のための機能・構造・ユーザ体験の類似度評価
3. 学会等名 日本設計工学会2019年度春季大会研究発表講演会
4. 発表年 2019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