Advance Publication by J-STAGE

日本機械学会論文集

Transactions of the JSME (in Japanese)

DOI:10.1299/transjsme.21-00207

Received date : 1 July, 2021

Accepted date : 21 September, 2021

J-STAGE Advance Publication date : 1 October, 2021

デザインの upstream 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

村上 存^{*1}, 久禮 達也^{*2}, 松永 裕太^{*3}

Trial of design ideation through computational processing of function and user experience descriptions at early stage of design

Tamotsu MURAKAMI^{*1}, Tatsuya KURE^{*2} and Yuta MATSUNAGA^{*3}

^{*1,*2,*3} Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

Abstract

Recently in the field of design, it is becoming more important to generate innovative ideas of "what to create" at early design stage than ideas of "how well to make". Ideation informatics to enhance idea generation by adding systematicity and exhaustiveness of information technology to human intuition should be a prospective approach to the problem. In this research, a ten sentence pattern model is proposed as a computable description of function and user experience (UX) at early design stage as a fundamental technology for ideation informatics by extending the English basic five sentence patterns. An XML format is designed to add semantic information to words, phrases, and sentences described in the ten sentence pattern model by using concept dictionary, i.e., concept identifiers of EDR electronic dictionary and synsets of Japanese WordNet, and software to calculate their semantic similarity is implemented in Python. Then, based on the knowledge of cognitive neuroscience that "human creation does not create something out of nothing, but the memory of the past is the basis of creation", a database of functions and UXs of existing products and services is prepared as an extension of human memory. Using the database, experiments to coming up ideas for solving problems related to the new coronavirus. From the obtained results, the effectiveness and possibility of the proposed method are confirmed.

Keywords : Ideation informatics, Ten sentence pattern model, Semantic tagging, Semantic similarity, Concept dictionary, Creativity, Design knowledge management

1. 緒 言

近年の研究により, IT (information technology) や機械学習などの AI (artificial intelligence) 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. 人間による思考や実験ではなく, IT や AI により系統的, 網羅的に新たな物質や材料の可能性を探索するマテリアルズインフォマティクス (materials informatics) は一例である (伊藤, 2019). 設計の分野でも, 形状や構造を対象とする中流段階から下流段階においては, 物理現象のシミュレーション, CAD (computer-aided design) や CAE (computer-aided engineering) による対象形状・構造の記述や解析, ジェネレーティブデザイン (generative design) (Tyflopoulos et al., 2018) などの IT による支援や, さらにインフォマティクスのアプローチの取り組みも報告されている (大林, 2019).

一方, 設計を含む広義のデザインの分野では近年, 「どのようにうまく造るか」よりも上流の「新しい何を創るか」の概念設計段階で革新的な発想を生み出すことが, より良い生活や社会の実現や, 産業的競争力の点で重要となっている. しかし, 前述の中流・下流段階に比べ, デザインの upstream 段階の IT 支援は十分に実現できていない.

No.21-00207 [DOI: 10.1299/transjsme.21-00207]

本論文は, 第 30 回設計工学・システム部門講演会講演論文集(2020), No.3402 の掲載内容に基づいた論文である.

^{*1} 正員, フェロー, 東京大学 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

^{*2} 学生員, 東京大学 大学院工学系研究科

^{*3} 東京大学 工学部

E-mail of corresponding author: murakami@mech.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、デザインの上流段階の支援を主な対象として想定し、製品やサービスの機能とユーザ体験の計算機処理可能な記述形式について検討し提案する。次に、人間の創造は無から有を生み出すのではなく、過去の記憶が素となっている (岩田, 2001) という認知神経科学の知見に基づき、人間の記憶の拡張として製品・サービスの機能・ユーザ体験のデータベースを構築する。それを用いて、人間の直感に IT の系統性、網羅性を加えることにより、デザイン上流段階における発想の創出を支援する発想インフォマティクス (ideation informatics) の可能性として、新型コロナウイルスに関する問題の解決に適用することを試みる。

2. デザイン上流段階における機能・ユーザ体験の記述

工学設計の分野では問題や対象を、機能 (function)、挙動 (behavior)、構造 (structure) の三つのレイヤーで記述する考え方がある (吉川, 富山, 2000) (Gero and Kannengiesser, 2007)。

- ・機能：製品やサービスがユーザの意図や目的に沿って果たす役割。
- ・挙動：機能を実現するために利用できる現象。
- ・構造：利用したい挙動を確実、効率的に生じるための、ものの性質 (形状、材質など)。

一方、近年では製品やサービスのデザインやヒューマンインタフェースなどの分野では、ユーザ体験 (user experience) の概念が重視されている (Hassenzahl, 2008) (日本産業規格, 2019)。

- ・ユーザ体験：製品やサービスとの相互作用に伴うユーザの瞬間瞬間の主に評価的な感覚やそれに関わる行為。

一般に製品やサービスのデザインは、ユーザにとっての目的である機能、ユーザ体験を設定し、それを実現するための挙動、構造を考案することと考えられる。そこで本研究では、デザインの上流段階での IT 支援を実現するための、機能とユーザ体験の計算機処理可能な記述形式について考える。

工学設計に関連する分野では、機能の表現には大きく分けて 2 つのアプローチがある。表現方法の一つ目は、変換としての記述であり、設計論における「エネルギー、材料、信号の変換」としての機能の表現 (Pahl et al., 2007) や、システムの機能モデリング (Knowledge Based Systems, Inc., 1993) が該当する。入力→変換→出力としての記述は形式化の程度が高く、変換の出力を別の変換の入力に組み合わせるなどダイアグラムとしての操作により、機能の複合による全体機能の構築や、機能から部分機能への分解などの概念操作が容易に表現できる利点がある。一方で、「固定する」など変換の形式では直感的に記述しにくい機能も存在するため、表現力に制約がある。

表現方法の二つ目は、語句による記述である。人間にとって記述や理解が直感的に最も容易なのは、自由な言語表現であるが、計算機処理を行う場合は、処理の負荷を軽減するためなどの理由で、何らかの形式化が行われる場合がある。例えば価値工学 (value engineering, VE) では機能を、「～を～する」のように動詞と名詞の組合せで記述する (玉井, 1981)。また、設計における対象の機能を、主体、対象、付加情報、動詞の 4 つで記述する方法 (南他, 2008) や、動詞、目的語、修飾語の 3 つで記述する方法 (野間口他, 2020) なども提案されている。

本研究では製品やサービスなど多様な対象のデザインへの適用を想定しており、多様な機能を記述できる表現力が重要である。また、ユーザ体験は人間の感覚や行為を含むため、機能よりも多様な内容の記述が必要となる可能性がある。そこで本研究では、前述の 2 つのアプローチのうち、語句による記述を採用する。そして、計算機処理の負荷を軽減するための形式化として、英語の基本 5 文型 (sentence pattern) に着目した。本研究で提案する、英語の基本 5 文型を拡張した機能、ユーザ体験の記述形式について、次に説明する。

3. 機能・ユーザ体験を記述する 10 文型モデルの提案と記述書式の設計

3・1 英語基本 5 文型の拡張による 10 文型モデルの提案

英語の基本 5 文型は、主語 (subject, S)、動詞 (verb, V)、(直接) 目的語 ((direct) object, O)、間接目的語 (indirect object, Oi)、補語 (complement, C) の 5 つの文要素 (sentence element) を用いて、基本的な英文を SV 型、SVC 型、SVO 型、SVOiO 型、SVOC 型の 5 つに分類するものであり、前述の主体、対象、付加情報、動詞による記述や、動詞、目的語、修飾語による記述よりも、高い表現力を有すると考えられる。ただし、基本 5 文型の欠点として、副詞語句 (adverbial, A) が主要な文要素として含まれないという捉え方 (安藤, 2008) がある。デザインにおける機能、ユーザ体験の記述としては、程度、時間、場所などの記述が必要であることから、本研究では基本 5 文型

に副詞語句を加えた 10 文型モデル (ten sentence pattern model) を用いることを提案する。10 文型モデルは、基本 5 文型に、A を含む SVA 型、SVCA 型、SVOA 型、SVOiOA 型、SVOCA 型の 5 つを追加したものとなる。

3・2 概念辞書を用いた意味情報の付与

本研究の主な目的は、デザイン上流段階で機能やユーザ体験の情報を計算機処理し、概念設計の IT 支援などを行うことであるため、語句に基づき記述された機能やユーザ体験について、表す意味による比較や類似度評価を行う必要がある。そのために本研究では、多数の語彙が表す概念や意味、それらの間の関係を体系化して記述した、電子化された概念辞書を使用する。電子化概念辞書の 1 つである EDR (Electronic Dictionary Research Institute) 電子化辞書 (Yokoi, 1995) では、日本語約 27 万単語と英語約 19 万単語、それらが表す約 41 万概念、概念間の上位一下位の関係が記述されている。個々の概念(意味)は 6 桁の 16 進数が割り振られた概念識別子 (concept identifier) で表現され、品詞情報は単語に与えられている。日本語 WordNet (Isahara et al., 2008) では、日本語約 9 万単語と英語約 15 万単語、それらが表す約 6 万概念、概念間の上位一下位など 21 種類の関係が記述されている。個々の概念(意味)は 8 桁の数字と品詞を表すアルファベット 1 文字が割り振られた同義語集合 (synonym set, synset) で表現され、品詞情報は同義語集合に与えられている。試用した結果、これら 2 つの概念辞書は一般的な辞書に比べると語彙の収録が限定的であり、語の収録の有無が 2 つの概念辞書で異なる場合もあることから、本研究ではこれら 2 つの辞書を併用する。

3・3 10 文型モデルの XML 記述書式および計算機処理

本研究では 10 文型モデルを表 1 に示すタグおよび属性を用いて XML (Extensible Markup Language) で記述し計算機処理する。本研究では処理ソフトウェアをプログラム言語 Python で実装した。

Table 1 XML tags and attributes for ten sentence pattern model.

(a) Tags for sentence structure		(b) Tags for sentence element	
Name	XML tag	Name	XML tag
Function	<function> </function>	Subject	<s> </s>
User experience	<userExperience> </userExperience>	Verb	<v> </v>
Language map	<lm> </lm>	(Direct) Object	<o> </o>
English	<eng> </eng>	Indirect object	<oi> </oi>
Japanese	<jpn> </jpn>	Complement	<c> </c>
Sentence	<sen> </sen>	Adverbial	<a>
(c) Tags for part of speech, etc.		(d) Attributes	
Name	XML tag	Name	XML attribute
Noun	<n> </n>	English alternative	eng
Verb	<v> </v>	Japanese alternative	jpn
Adjective	<aj> </aj>	EDR concept identifier	cid
Adverb	<av> </av>	WordNet synset	syn
Noun phrase	<np> </np>		
Modifier	<m> </m>		

以下に、セラピーロボット (Wada and Shibata, 2007) などと考えられる機能「製品がユーザを癒す」と、製品一般について生じるユーザ体験「ユーザが製品を直す」の記述例を示す。本研究は原則として、機能は製品やサービスなどが主語の文、ユーザ体験はユーザや人が主語の文で表す。英語の文型における S, V, O, C, A は各要素の出現順序も含めた構文を表すが、本研究ではこれを構文の表現ではなく文における語や句の意味的タグ付け (semantic tagging) として使用する。そのため、出現の順序とは切り離して考えることにより、日本語についても適用できる。タグ<lm> </lm> (表 1 (a)) は同じ意味を表す複数言語の語、句、文を 1 つのオブジェクト (言語を key, その言語の語、句、文を value とする Python の dict 型) にまとめて保持する指示に用いる。語の属性 eng (jpn も同様) (表 1 (d)) は、文中での語の出現形と概念辞書中の原形が異なる場合の対応づけと、使用したい語が概念辞書にない場合、別言語の同義の語から意味 (概念識別子, 同義語集合) を取得する指示に用いる。

```

<function>
  <lm>
    <eng><sen><s>A<n>product</n></s></v><v eng="heal">heals</v></o>a<n>user</n></o>.</sen></eng>
    <jpn><sen><s><n>製品</n></s>が<o><n>ユーザ</n></o>を<v><v>癒す</v></v>。</sen></jpn>
  </lm>
</function>
<userExperience>
  <lm>
    <eng><sen><s>A<n>user</n></s></v><v eng="repair">repairs</v></o>a<n>product</n></o>.</sen></eng>
    <jpn><sen><s><n>ユーザ</n></s>が<o><n>製品</n></o>を<v><v>直す</v></v>。</sen></jpn>
  </lm>
</userExperience>

```

10 文型モデルの XML 記述は計算機処理され、各語にどのような概念識別子、同義語集合が割り当てられたかを記述した中間コードが JSON (JavaScript Object Notation) フォーマットで出力される。語は一般的に多義性 (polysemy) があり、意図と異なる意味が混在することは、後述する語や文の類似度評価の精度を低下させる。例えば下記の英単語 “user” の例では、EDR 電子化辞書 (“EDR”) の概念識別子 2 個は意図と合っているが、日本語 WordNet (“WN”) の同義語集合 3 個のうち 2〜3 個目は意図と異なっている。このような場合、表 1 (d) の属性 cid, syn を用いて、XML 表記において明示的に概念識別子や同義語集合を限定し、例えば

```
<n syn="10741590-n">user</n>
```

のように、文中の指定した場所の指定した語について多義性を解消することができる。

```

{"text": "user",
 "pos": "N",
 "lang": "ENG",
 "meaning": {
   "EDR": {
     "0e0971": ["someone or something that employs or puts into service", "サービスを利用する人やもの"],
     "3be933": ["物を使用する人", "a person who uses something"]},
   "WN": {
     "10741590-n": ["someone who uses or employs something", "何かを使うあるいは使用する誰か",
       "a person who makes use of a thing", "ものを利用する人"],
     "10072546-n": ["物人を自分本位にあるいは非倫理的に利用する人",
       "a person who uses something or someone selfishly or unethically"],
     "10036266-n": ["a person who takes drugs", "薬物を服用する人"]}}
}

```

4. 概念辞書に基づく語・文の類似度計算

4・1 概念辞書による概念の類似度計算

前記 3 で定めた 10 文型モデルの XML 記述を計算機処理することにより、各語にその意味を表す概念識別子、同義語集合が割り当てられ、それが S, V, O, C, A の文要素として構造化されたデータが生成される。本研究ではそれをデザイン上流段階の発想創出などに用いるために、二つの文の意味的な類似度を計算する。自然言語処理において、EDR 電子化辞書や日本語 WordNet のように人手で構築されたリソースは高品質であるが語彙などのカバレッジ (coverage) に限界がある (Kurosaki, 2019) 一方、近年発展している機械学習によるアプローチは、学習された内容にブラックボックス部分が多いという問題がある。本研究の手法は自然言語処理の研究ではなくデザイン支援の研究のためのツールとして、以下の理由よりブラックボックスが少ない前者のアプローチをとる。

- ・考案したデザイン支援の結果が予想と異なる場合、デザイン支援の処理に問題があるのか、基となる文やそれを構成する語の処理に問題があるのかなど、原因の追跡が容易に行える。
- ・認知心理学における「動作に関連する単語は前頭葉後方に記憶されており、物の名前は下側頭葉および側頭極に記憶されている」(乾, 2010) や、デザインにおける「私たちがデザインしようとしているのは、名詞ではな

く動詞（たとえば、『電話』『モノ』をデザインするのではなく、『電話をかけること』『経験』をデザインする）」(Brown, 2019) などの記述から、脳に対して異なる効果をもたらし、有効な発想創出を実現するために、文要素や品詞により重み付けを変えるなどの細かな制御が容易に行える。

4・2 語の類似度計算

EDR 電子化辞書では、語の意味が概念識別子で記号化され、語と概念識別子の対応、概念識別子間の上位（抽象）－下位（具体）の関係が階層構造としてデータ化され、概念識別子 3aa966 が最上位概念である（図 1）。日本語 WordNet における語と同義語集合についても同様な構造化がなされている。

語 w に関係づけられた概念識別子の集合を $cids(w)$ とするとき、本研究では語 w_1 と w_2 の類似度 (0～1) を式 (1) で定義する。ここで $sim_{cid}(C_1, C_2)$ は、概念識別子 C_1 と C_2 からそれぞれリンクのステップ数 N_1 , N_2 でつながる共通上位概念のうち、最上位概念からのリンクのステップ数 N_R が最大である LCS (least common superconcept)（図 2）について式 (2) で定義される Wu-Palmer 類似度 (Wu and Palmer, 1994) である。

$$sim_w(w_1, w_2) = \max_{x,y} \{sim_{cid}(x, y) \mid x \in cids(w_1), y \in cids(w_2)\} \quad (1)$$

$$sim_{cid}(C_1, C_2) = \frac{2N_R}{N_1 + N_2 + 2N_R} \quad (2)$$

Fig. 1 Example of structure of headwords and concept identifiers in EDR electronic dictionary.

Fig. 2 Wu-Palmer similarity between concept identifiers (Wu and Palmer, 1994).

4・3 語の多重集合の類似度計算

語の種類と頻度を保持する多重集合 (bag-of-words) (Manning et al., 2012) について, 語 w_i ($i = 1 \cdots I$) で構成される多重集合 bow_1 における語 w_i の頻度を $n_{1,i}$, 語 w_j ($j = 1 \cdots J$) で構成される多重集合 bow_2 における語 w_j の頻度を $n_{2,j}$ とする. このとき二つの多重集合の類似度 (0~1) を式 (3) で定義する. 一方の多重集合中の各語 w_i について, 他方の各語 w_j との類似度の最大値を頻度 $n_{1,i}$ で重みづけして平均する. それを逆方向についても行い, 多重集合の語の種類数 I, J で重みづけして平均する.

$$sim_{bow}(bow_1, bow_2) = \frac{1}{I+J} \left[\frac{I \sum_i \{n_{1,i} \times \max_j sim_w(w_i, w_j)\}}{\sum_i n_{1,i}} + \frac{J \sum_j \{n_{2,j} \times \max_i sim_w(w_j, w_i)\}}{\sum_j n_{2,j}} \right] \quad (3)$$

4・4 文の類似度計算 1 : 語の多重集合の比較

以上の語の類似度を用いて, 本研究では3種類の文の類似度計算を定義する. そして, その3つの類似度計算を文例に適用し, 適切な類似度計算方法を決定する.

まず, 文 sen に含まれる語の多重集合を $bow(sen)$ とする. 本研究では, 語の多重集合の比較による文の類似度 (0~1) を, 式 (4) により定義する.

$$sim_{sen-bow}(sen_1, sen_2) = sim_{bow}(bow(sen_1), bow(sen_2)) \quad (4)$$

4・5 文の類似度計算 2 : 文要素の固定比較

文を語の多重集合に分解して比較する4・4の方法では, 3・3で例示した2文

“製品がユーザを癒す。” → {“製品”:1, “ユーザ”:1, “癒す”:1}

“ユーザが製品を直す。” → {“ユーザ”:1, “製品”:1, “直す”:1}

は意味が異なるにもかかわらず, “癒す” と “直す” の意味の類似性のため, それぞれの多重集合間には高い類似度が計算される可能性がある. そのような問題を解決するため, 対応する文要素 S, V, O, Oi, C, A 同士の比較により文の類似度を計算する方法を考える.

文 sen の文要素 e ($e \in \{S, V, O, O_i, C, A\}$) を $elem(sen, e)$ とする. 例えば $elem(sen, S)$ は文 sen の主語を表す. ここで文 sen_1 と sen_2 の対応する文要素同士 (図3(a)) の類似度 (0~1) を式 (5) で定義する.

$$sim_{elem}(elem(sen_1, e), elem(sen_2, e)) = \begin{cases} sim_{bow}(bow(elem(sen_1, e)), bow(elem(sen_2, e))) & (elem(sen_1, e) \neq \emptyset \text{ and } elem(sen_2, e) \neq \emptyset) \\ 0 & (elem(sen_1, e) \neq \emptyset \text{ xor } elem(sen_2, e) \neq \emptyset) \\ \emptyset & (elem(sen_1, e) = \emptyset \text{ and } elem(sen_2, e) = \emptyset) \end{cases} \quad (5)$$

それを用いて文 sen_1 と sen_2 の類似度 (0~1) を式 (6) で定義する.

$$sim_{sen-rigid}(sen_1, sen_2) = \text{mean}_e \{ sim_{elem}(elem(sen_1, e), elem(sen_2, e)) \mid e \in \{S, V, O, O_i, C, A\} \} \quad (6)$$

Fig. 3 Sentence element comparison for sentence similarity calculation.

4・6 文の類似度計算 3：文要素の柔軟比較

一般に文は、表 2（文要素のタグのみ表示）に例示するように、異なる文型で同様な意味を表現できる（表 2 では読みやすさのため、計算機処理に必要な詳細な XML のタグや属性は省略されている）。例えば和文 1 α と 1 β （英文 1 α と 1 β も同様）は文の意味は類似するが、「冷たい」という意味は 1 α では動詞 V、1 β では補語 C が担っているため、同じ文要素同士を比較する 4・5 の方法では類似性が検出できない可能性がある。

Table 2 Examples of sentence pairs with similar meanings in different sentence patterns.

Pair	Lang.	Sentence	Correspond
1	α	jpn <s>冷蔵庫</s>が<o>食品</o>を<v>冷やす</v>	$V_{\alpha}-C_{\beta}$
	eng	<s>A refrigerator</s><v>cools</v><o>food</o>	
	β	jpn <s>冷蔵庫</s>が<o>食品</o>を<c>冷たく</c><v>保つ</v>	
	eng	<s>A refrigerator</s><v>keeps</v><o>food</o><c>cool</c>	
2	α	jpn <s>速い自動車</s>が<v>走る</v>	$S_{\alpha}-C_{\beta}$
	eng	<s>A fast car</s><v>runs</v>	
	β	jpn <s>自動車</s><v>は</v><c>速い</c>	
	eng	<s>A car</s><v>is</v><c>fast</c>	
3	α	jpn <s>ユーザ</s>が<o>自動車</o>を<v>撮影する</v>	$V_{\alpha}-O_{\beta}$
	eng	<s>A user</s><v>photographs</v><o>a car</o>	
	β	jpn <s>ユーザ</s>が<o>自動車の写真</o>を<v>撮る</v>	
	eng	<s>A user</s><v>takes</v><o>a photograph of a car</o>	
4	α	jpn <s>ユーザ</s>が<o>贈り物</o>を<v>箱に入れる</v>	$V_{\alpha}-O_{i\beta}$
	eng	<s>A user</s><v>boxes</v><o>a present</o>	
	β	jpn <s>ユーザ</s>が<oi>箱</oi>に<o>贈り物</o>を<v>入れる</v>	
	eng	<s>A user</s><v>puts</v><oi>a box</oi><o>a present</o>	
5	α	jpn <s>輝く照明</s><v>が</v><c>美しい</c>	$S_{\alpha}-V_{\beta}$ $C_{\alpha}-A_{\beta}$
	eng	<s>A shining light</s><v>is</v><c>beautiful</c>	
	β	jpn <s>照明</s>が<a>美しく<v>輝く</v>	
	eng	<s>A light</s><v>shines</v><a>beautifully	
6	α	jpn <s>自動車</s>は<o>自転車</o><v>よりよく走る</v>	$V_{\alpha}-A_{\beta}$
	eng	<s>A car</s><v>outruns</v><o>a bicycle</o>	
	β	jpn <s>自動車</s>は<a>自転車より速く<v>走る</v>	
	eng	<s>A car</s><v>runs</v><a>faster than a bicycle	
7	α	jpn <s>自動車</s>は<o>強力なエンジン</o>を<v>持つ</v>	$O_{\alpha}-C_{\beta}$
	eng	<s>An automobile</s><v>has</v><o>a powerful engine</o>	
	β	jpn <s>自動車のエンジン</s>は<c>強力</c><v>だ</v>	
	eng	<s>An engine of an automobile</s><v>is</v><c>powerful</c>	
8	α	jpn <s>患者</s>は<o>ひどい風邪</o>を<v>引いた</v>	$O_{\alpha}-A_{\beta}$
	eng	<s>A patient</s><v>caught</v><o>a severe cold</o>	
	β	jpn <s>患者</s>は<a>ひどく<o>風邪</o>を<v>引いた</v>	
	eng	<s>A patient</s><v>caught</v><o>a cold</o><a>severely	

この問題を解決するために、2 文の文要素同士のすべての組合せ（図 3 (b)）で類似度を計算し、文の類似度が最大となる組合せを採用する（式 (7)）。ただし、2 文間で主語 S と（間接）目的語 O（Oi），直接目的語 O と間接目的語 Oi を入れ替えて対応付けることは、文の意味を維持しない比較になると考え、組合せにおいて除外する。

$$\begin{aligned}
 & sim_{\text{sen-flex}}(sen_1, sen_2) \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \text{mean}_{e_1}(\max_{e_2}(sim_{\text{elem}}(elem(sen_1, e_1), elem(sen_2, e_2)))) + \text{mean}_{e_2}(\max_{e_1}(sim_{\text{elem}}(elem(sen_2, e_2), elem(sen_1, e_1)))) \right\} \\
 & \quad | e_1, e_2 \in \{S, V, O, O_i, C, A\}, \{e_1, e_2\} \notin \{\{S, O\}, \{S, O_i\}, \{O, O_i\}\}
 \end{aligned} \tag{7}$$

4・7 文の類似度計算の比較評価

以上で定義した3種類の文類似度計算を、次の方法で比較、評価する。

(1) 表2の和文のうち、同じ意味を異なる文型で記述した8対 $i_{\alpha,jpn} - i_{\beta,jpn}$ ($i = 1 \sim 8$) について、3種類の方法で文の類似度を計算する。その結果の妥当性を、適切：1、どちらかという適切：2/3、どちらかという不適切：1/3、不適切：0、4段階で、4名の評価者が評価し、その平均と標準偏差を計算する。

(2) 表2の和文のうち、意味が異なる28対 $i_{\alpha,jpn} - j_{\beta,jpn}$ ($i = 1 \sim 8, j = (i + 1) \sim 8$) について、(1)と同様に類似度計算、評価を行う。

評価結果を表3に示す。表中の評価値（平均）が高いほど、類似度計算の結果が妥当であると判断されたことを示す。文を語の多重集合に分解して比較する方法（4・4）は4・5に述べた理由で類似度が高めに計算されるため、意味が異なる文の比較について3つの方法の中で最も低い評価となっている。文要素の固定比較による方法（4・5）は、4・6に述べた理由で同じ意味を異なる文型で表す文の比較について最も低い評価となっている。以上2つの方法に比べ、文要素の柔軟比較による方法（4・6）は、意味が異なる文の比較、同じ意味を異なる文型で表す文の比較のいずれについても、評価が低下せず安定していることが分かる。英文についても同様な結果が得られたことから、本研究では文の類似度計算において、文要素の柔軟比較による方法（4・6）を使用する。

Table 3 Evaluation of sentence similarity calculations.

Similarity calculation \ Sentence pairs	Similar meaning, different sentence patterns		Different meanings	
	Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.
4・4 Comparison of sentence bows	0.667	0.191	0.214	0.160
4・5 Rigid comparison of sentence elements	0.333	0.315	0.673	0.259
4・6 Flexible comparison of sentence elements	0.458	0.257	0.577	0.242

5. 機能・ユーザ体験のデータベースを用いたデザイン発想創出の試み

5・1 製品・サービスの機能・ユーザ体験のデータベースによる記憶の拡張

本研究では、提案した機能、ユーザ体験の記述を、デザインの上流段階における発想創出に応用することを試みる。認知神経科学では、「人間による創造は、無から有を生み出すのではなく、外界からの新たな刺激に対して、過去の記憶を想起して仮想現実を形成、試行する脳の神経機構による」（岩田，2001）と考えられている。ガラスの破片と板チョコから折る刃式カッターナイフが着想された事例（OLFA，2021）は、これに合致する。過去の記憶の量は、「物知り」であっても創造的とは限らないため（Murakami，2020）発想力の十分条件とは言えないが、発想力の一つの要因である可能性がある。

そこで、本研究ではまず、提案した機能、ユーザ体験の記述の応用の一つとして、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。さまざまな事例を偏りなく収集するため、次のような分類で事例を選定した。

感覚による分類（例）：視覚（Glasses）、聴覚（Earphones）、味覚（RecipeBook）、嗅覚（Aromatherapy）、触覚（Braille）。

現象による分類（例）：力（IndustrialRobot）、熱・温度（Refrigerater）、電磁気（IHRiceCooker）、音響（AmbientMusic）、光学（Camera）、情報（Map）など。

目的による分類（例）：衣（ClothesHanger）、食（UberEats）、住（StandingDesk）など。

選定した196の製品・サービスについて、それぞれの機能、ユーザ体験の文を著者らが記述、入力した結果、合計で機能の文は345種類、ユーザ体験の文は464種類となった。燃料芳香剤（fuel fragrance）のデータベース記述例を以下に示す。

```

<name>
  <eng><n>fuel fragrance</n></eng>
  <jpn><n>燃料芳香剤</n></jpn>
</name>
<resources>
  <url>https://item.rakuten.co.jp/ooparts-racing/ff-001-gg/</url>
  <url>https://www.powerpluslubricants.com/fuel-fragrances.html</url>
</resources>

<function>
  <lm>
    <eng>
      <sen><v><v eng="add">adds</v></v><oi><n>fuel</n></oi><o><n>fragrance</n></o>.</sen>
    </eng>
    <jpn>
      <sen><oi><n>燃料</n></oi>に<o><n>香料</n></o>を<v><v>添加する</v></v>。</sen>
    </jpn>
  </lm>
</function>
<userExperience>
  <lm>
    <eng>
      <sen>
        <v><v eng="emit">emits</v></v>
        <o><np><m><aj>scented</aj></m><n jp="排気ガス">exhaust gas</n></np></o>
        <a>into<n>atmosphere</n></a>.
      </sen>
    </eng>
    <jpn>
      <sen>
        <o><np><m><aj eng="scented">香りがする</aj></m><n>排気ガス</n></np></o>を
        <a><n>大気</n>中に</a>
        <v><v>放出する</v></v>。
      </sen>
    </jpn>
  </lm>
</userExperience>

```

5・2 新型コロナウイルスに関する問題解決のための発想創出実験

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）する形で、発想創出実験を行った。本研究は機能・ユーザ体験データベースによる記憶の拡張を試みる点が、語句による刺激で発想を得るアプローチ（Chiu and Shu, 2007）とは異なる。

解決したい問題として、新型コロナウイルスに関連する次の3件を取り上げた。

- ・「公共空間の点字から情報を読み取る。」（接触による感染可能性のため、できないこと。）
- ・「空間に殺菌剤を散布する。」（やりたいこと。）
- ・「物体の表面のウィルスを除去する。」（やりたいこと。）

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。問題に対する解決案としては、実行の主体（人間か製品・サービスか）を区別せず広く考えるため、文の類似度計算において主語の比較を無効（主語の類似度は常に1）とした。

各問題の文とデータベース中で最も類似度が高い機能・ユーザ体験文およびそれをもたらす既存製品・サービス事例の10組を、実験協力者に提示して、次のように発想創出を試みてもらった。

- ・その機能・ユーザ体験・事例が（ほぼ）そのまま問題の解決となっている場合は、「as is」と回答する。
- ・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する。

・その機能・ユーザ体験・事例が解決になっておらず、新しい解決も思いつかない場合は、空欄とする。
 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、「as is」が 20 件、新たな発想が 37 件あった。

次に、その 57 件の解決案を 4 名に次の通り評価してもらい、案ごとに平均した。

- ・有用性 (utility) : あれば 1, なければ 0 と評価する。
- ・新規性 (novelty) : その解決案が既存であれば 0, 既存の方法の単純な応用である場合は 1/2, 新規性がある場合は 1 と評価する。

結果のうち評価が高かったものを表 4 に示す。No. 1 は、問題の文と類似度が 0.713 ({}内は文要素ごとの類似度の内訳) で上位 10 件中の 2 番目だった機能・ユーザ体験文、事例から、「非接触点字表示」という発想が創出されたことを表す。No.2 の上段の機能・ユーザ体験文は「散布する」と「放出する」の類似性、下段は「殺菌剤」と「ワクチン」の類似性という、異なる理由で提示されていることが分かる。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、No. 1, No. 3 のような実現可能性のある発想や、No. 2 のような実現可能性は微妙であるが斬新な発想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。

Table 4 Examples of inspired idea.

No	Problem sentence	Sim., order: function or user experience sentence {Existing design(s)}	Inspired idea	Novel	Util.
1	“公共空間の点字から情報を読み取る。(Read information from braille in public space.)”	0.713 {S:1, V:0.528, O:1, A:0.325}, 2nd: “ユーザが触覚を通して情報を得る。(User obtain information through sense of touch.)” {HapticTechnology, MidairHapticTechnology}	Generates a Braille sensation at the fingertips in the air without contact.	0.625	1
		0.658 {S:1, V:0.528, O:0.786, A:0.32}, 7th: “ユーザが路面から触覚で歩行のための情報を得る。(User obtain information for walking by touch from the road.)” {TactilePaving}	Display Braille on the floor dynamically and read with the foot sole.	0.875	1
2	“空間に殺菌剤を散布する。(Spray disinfectant in space.)”	0.662 {S:1, V:0.786, O:0.428, A:0.436}, 1st: “ユーザが香りがする排気ガスを大気中に放出する。(User emit scented exhaust gas into atmosphere.)” {FuelFragrance}	Supply gasoline containing bactericidal components, and the automobile sprays the bactericidal components with the exhaust gas.	0.5	0.5
		0.638 {S:1, V:0.286, O:0.889, A:0.377}, 4th: “デザインが体内にワクチンを投与する。(Design vaccinate in body.)” {Vaccination}	Inject fungicide into the body of a small animal (harmless to the animal), and it is released when the animal roams.	0.875	0.75
3	“物体の表面のウイルスを除去する。(Remove virus on object surface.)”	0.761 {S:1, V:0.843, O:0.441}, 7th: “デザインが窓ガラスの汚れを拭き取る。(Design wipe off the dirt on the window glass.)” {WindscreenWiper}	Table with disinfectant wiper.	0.75	1

6. 結 言

(1) デザインの上流段階での製品やサービスの機能とユーザ体験の計算機処理可能な記述形式として、英語の基本 5 文型を拡張した 10 文型モデルを提案した。

(2) 10 文型モデルで記述された語、句、文に、概念辞書である EDR 電子化辞書の概念識別子、日本語 WordNet の同義語集合を用いて意味情報を付与するための XML 書式を設計し、意味による類似度を計算するソフトウェアを Python で実装した。

(3)「人間の創造は無から有を生み出すのではなく、過去の記憶が素となっている」という認知神経科学の知見に基づき、人間の記憶の拡張として既存の製品・サービスの機能・ユーザ体験のデータベースを構築した。

(4) デザイン上流段階での機能、ユーザ体験記述の応用として、新型コロナウイルスによる問題を解決するための発想を、機能・ユーザ体験のデータベースを利用して創出する実験を行った。

(5) 得られた結果から、本研究のアプローチの基本的な有効性、可能性を検証した。

本研究で提案した手法の性能は、データベースの機能・ユーザ体験・事例の数や多様性に依存するため、多数のデータの収集が今後の課題である。また本論文で示した発想創出実験は、問題の記述文と類似度が高い機能・ユーザ体験文をそのまま表示するもので、データベースの検索的な処理であり、人間の発想における過去の記憶が形を変えて想起されるものとは異なる。文や事例の単体ではなく関連性が高くなる組合せを探索したり、文や事例群からパターンの知識を構成するなど、人間の発想に近い計算機処理の実現も、今後の課題である。

本論文の内容は、JSPS 科研費 JP19H02047 の助成を受けたものである。

文 献

安藤貞雄, 英語の文型, 開拓社 (2008).

Brown, T. (著), 千葉敏生 (訳), デザイン思考が世界を変える, 早川書房 (2019), p.172.

Chiu, I. and Shu, L. H., Using language as related stimuli for concept generation, AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, Vol. 21, No. 2 (2007), pp.103–121.

Gero, J. S. and Kannengiesser, U., A function–behavior–structure ontology of processes, AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, Vol. 21, No. 4 (2007), pp.379–391.

Hassenzahl, M., User Experience (UX): towards an experiential perspective on product quality, Proc. 20th Conference on Interaction Homme-Machine (2008), pp.11-15.

乾敏郎, 言語獲得と理解の脳内メカニズム, 動物心理学研究, Vol. 60, No. 1 (2010), pp.59–72.

Isahara, H., Bond, F., Uchimoto, K., Utiyama, M. and Kanzaki, K., Development of the Japanese WordNet, Proc. 6th Language Resources and Evaluation Conference (LREC-2008) (2008), pp.2420–2423.

伊藤聡, 日本のマテリアルズインフォマティクス研究, 人工知能, Vol. 34, No. 3 (2019), pp.325–329.

岩田誠, 脳と創造性, てんかん研究, Vol. 19, No. 2 (2001), pp.101–110.

日本産業規格, 人間工学—インタラクティブシステムの人間中心設計, JIS Z8530:2019 (ISO 9241-210:2010) (2019).

Knowledge Based Systems, Inc., Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), available from <https://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/idef0/>, (accessed on 2 March, 2021).

黒崎禎夫, 自然言語処理, 放送大学教育振興会 (2019).

Manning, C. D., Raghavan, P. and Schütze, H. (著), 岩野和生, 黒川利明, 濱田誠司, 村上明子(訳), 情報検索の基礎, 共立出版 (2012), p.105.

南和幸, 三浦真磁, 大西美妃, 妻屋彰, 田浦俊春, 独創的設計支援のための言語的機能表現フレームワークに基づく機能推論の研究, 日本デザイン学会第 55 回春季研究発表大会 (2008), pp.1–2.

Murakami, T., Trial of Design Creativity Education Based on Consideration of Creativity Factors, The 5th International Conference on Design Engineering and Science (ICDES 2020) (2020), pp.28-32.

野間口大, 河原貴大, 正田浩暉, 藤田喜久雄, 設計概念生成のための新規性ポテンシャルの考え方と単語類似度計測によるその評価法の提案, 日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 890 (2020), DOI:10.1299/transjsme.20-00006.

大林茂, 機械工学とインフォマティクスの出会い, 日本機械学会誌, Vol. 122, No. 1210 (2019), pp.4–5.

OLFA Corporation, What sparked the first OLFA cutter, available from <https://www.olfa.co.jp/en/birth_of_olfa_cutter.html>, (accessed on 3 March, 2021).

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H., Wallace, K. (trans.) and Blessing L., (trans.), Engineering Design – A Systematic Approach, Third Edition (2007), Springer.

玉井正寿(編), VE と標準化, 日本規格協会 (1981).

Tylopoulos, E., Tollnes, F. D., Steinert, M. and Olsen, A., State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs, Proc. NordDesign 2018 (2018), pp.1–15.

Wada, K. and Shibata, T., 2007, Living with Seal Robots - Its Sociopsychological and Physiological Influences on the Elderly at a Care House, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 23, No. 5 (2007), pp.972–980.

Wu, Z. and Palmer, M., Verb semantics and lexical selection, Proc. 32nd Annual Meeting on Association for Computational

Linguistics (ACL '94) (1994), pp.133–138.

Yokoi, T., The EDR electronic dictionary, Communications of the ACM, Vol. 38, No. 11 (1995), pp.42–44.

吉川弘之, 富山哲男, 設計学—ものづくりの理論, 放送大学教育振興会 (2000).

References

Ando, S., English Sentence Pattern, Kaitakusha (2008) (in Japanese).

Brown, T., Chiba, T. (trans.), Change by Design, Hayakawa Publishing (2019), p.172 (in Japanese).

Chiu, I. and Shu, L. H., Using language as related stimuli for concept generation, AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, Vol. 21, No. 2 (2007), pp.103–121.

Gero, J. S. and Kannengiesser, U., A function–behavior–structure ontology of processes, AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, Vol. 21, No. 4 (2007), pp.379–391.

Hassenzahl, M., User Experience (UX): towards an experiential perspective on product quality, Proc. 20th Conference on Interaction Homme-Machine (2008), pp.11-15.

Inui, T., Brain mechanism of language acquisition and understanding, Japanese Journal of Animal Psychology, Vol. 60, No. 1 (2010), pp.59–72 (in Japanese).

Isahara, H., Bond, F., Uchimoto, K., Utiyama, M. and Kanzaki, K., Development of the Japanese WordNet, Proc. 6th Language Resources and Evaluation Conference (LREC-2008) (2008), pp.2420–2423.

Itoh, S., Overview of materials informatics in Japan, Artificial Intelligence, Vol. 34, No. 3 (2019), pp.325–329 (in Japanese).

Iwata, M., Brain and creativity, Epilepsy Research, Vol. 19, No. 2 (2001), pp.101–110 (in Japanese).

Japanese Industrial Standards, Ergonomics of human-system interaction - Human-centred design for interactive systems, JIS Z8530:2019 (ISO 9241-210:2010) (2019).

Knowledge Based Systems, Inc., Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), available from <https://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/idef0/>, (accessed on 2 March, 2021).

Kurosaki, Natural language processing, Foundation for the Promotion of The Open University of Japan (2019) (in Japanese).

Manning, C. D., Raghavan, P. and Schütze, H., Iwano, K. (trans.), Kurokawa, T. (trans.), Hamada, S. (trans.) and Murakami, A. (trans.), Introduction to Information Retrieval, Kyoritsu Shuppan (2012), p.105 (in Japanese).

Minami, K., Miura, S., Onishi, M., Tsumaya, A. and Taura, T., A study for function reasoning based on language function representation framework, Japanese Society for the Science of Design 55th Spring Conference (2008), pp.1–2 (in Japanese).

Murakami, T., Trial of Design Creativity Education Based on Consideration of Creativity Factors, The 5th International Conference on Design Engineering and Science (ICDES 2020) (2020), pp.28-32.

Nomaguchi, Y., Kawahara, T., Shoda, K. and Fujita, K., Proposal of the novelty potential for design concept generation and its assessment method with word similarity, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 86, No. 890 (2020), DOI:10.1299/transjsme.20-00006.

Obayashi, S., Encounter between mechanical engineering and informatics, Journal of the Society of Mechanical Engineers, Vol. 122, No. 1210 (2019), pp.4–5.

OLFA Corporation, What sparked the first OLFA cutter, available from <https://www.olfa.co.jp/en/birth_of_olfa_cutter.html>, (accessed on 3 March, 2021).

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H., Wallace, K. (trans.) and Blessing L., (trans.), Engineering Design – A Systematic Approach, Third Edition (2007), Springer.

Tamai, M. (ed.), VE and standardization, Japanese Standards Association (1981) (in Japanese).

Tyflopoulos, E., Tollnes, F. D., Steinert, M. and Olsen, A., State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs, Proc. NordDesign 2018 (2018), pp.1–15.

Wada, K. and Shibata, T., 2007, Living with Seal Robots - Its Sociopsychological and Physiological Influences on the Elderly at a Care House, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 23, No. 5 (2007), pp.972–980.

Wu, Z. and Palmer, M., Verb semantics and lexical selection, Proc. 32nd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics (ACL '94) (1994), pp.133–138.

Yokoi, T., The EDR electronic dictionary, Communications of the ACM, Vol. 38, No. 11 (1995), pp.42–44.

Yoshikawa, H. and Tomiyama, T., Design Theory - Theory of Making Things, Foundation for the Promotion of The Open University of Japan (2000) (in Japanese).