JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

| | |
|---|---|
| Title | デザインにおける創造的思考の構成的研究の試み : 概念生成プロセスの構成的シミュレーション |
| Author(s) | 田浦, 俊春; 山本, 英子; Yusof, Nor Fasiha Mohd; 伍賀, 正典; 永井, 由佳里; 中島, 秀之 |
| Citation | 認知科学, 18(2): 329-341 |
| Issue Date | 2011-06-01 |
| Type | Journal Article |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/12079 |
| Rights | Copyright (C) 2011 日本認知科学会. 田浦俊春, 山本英子, Nor Fasiha Mohd Yusof, 伍賀正典, 永井由佳里, 中島秀之, 認知科学, 18(2), 2011, 329-341. |
| Description | |

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

*Cognitive Studies*, **18**(2), 329-341. (June 2011)

●ショートノート●

# デザインにおける創造的思考の構成的研究の試み —概念生成プロセスの構成的シミュレーション—

田浦 俊春・山本 英子・Nor Fasiha Mohd Yusof・
伍賀 正典・永井 由佳里・中島 秀之

This study proposes constructive simulation, a new research method applied in investigating phenomenon that is difficult to observe. Constructive simulation infers the mechanism that forms a phenomenon using a different mechanism when the similar or analogous phenomenon emerges from the different mechanism. This study determines the procedure of constructive simulation and applies it in the concept generation process in design. First, the virtual concept generation process was explored on the semantic network by tracing the relations between the concepts. Next, the structure of the virtual concept generation process was extracted using the network theory, and its correlation with the evaluated originality score of the actual design products were analyzed. Because a significant correlation was found, it was understood that the analogous phenomenon had emerged from the virtual concept generation process and that the constructive simulation was conducted successfully. Finally, certain hypotheses on the thinking principle in concept generation were inferred from the mechanism of the virtual concept generation process.

Keywords: constructive research（構成的研究）, constructive simulation（構成的シミュレーション）, concept generation process（概念生成プロセス）, semantic network（意味ネットワーク）, thinking principle（思考原理）

## 1. はじめに

本研究では，観測の困難な現象を研究する方法として,「構成的なシミュレーション」と呼ぶ研究手法を提案する．これは,「模倣的なシミュレーション」に対峙する考え方である．模倣的なシミュレーションは，いわゆる従来から言われているシミュレーションであり，予測などを行うために実際の現象をできるだけ正確に計算機内に再現するものである．気象，流体など，多くの現象の計算機シミュレーションが試みられてきている．シミュレーションの正確さは実際の現象との付き合わせで検証される．一方で,「構成的なシミュレーション」とは，構成的研究の考え方 (中島, 2008) に基づくものであり，知りたい現象に類似ないし相似している現象が，知りたい現象とは異なる機構（本論文では，現象を生成する原理を機構と呼ぶ）から創発された場合に，その異なる機構の内容から知りたい現象の機構の特性を推測する方法である．機構の観測が困難な場合や，分析の困難な現象（複雑系がその典型例であるが，本論文で扱う人間の思考もこれに該当する）を理解するために使う．たとえば，一流の棋士の思考プロセスを研究する場合を考えてみよう．その棋士の思考プロセスを観測し，観測で得られたデータ（棋士の指した手）を忠実に再現するシミュレーションが，模倣的なシミュレーションである（これは実現できていない）．一方で，とにかく，一流の棋士と同等の強さ（現象）の将棋のプログラム（機構）を開発し，そのプログラムの特徴から，一流の棋士の思考プロセス（機構）の特性（本論文では，これ

Trial of Constructive Research Method for the Creative Thinking Process in Design — Constructive Simulation of Concept Generating Process —, by Toshiharu Taura, Eiko Yamamoto, Nor Fasiha Mohd Yusof, Masanori Goka (Kobe University), Yukari Nagai (Japan Advanced Institute of Science and Technology), and Hideyuki Nakashima (Future University Hakodate).

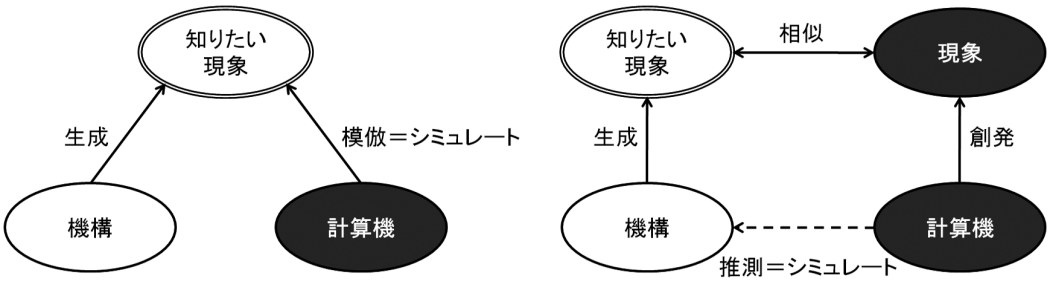



**図 1** 模倣的シミュレーションと構成的シミュレーション

を思考原理と呼ぶ）を推測するのが構成的なシミュレーションである．その過程で，将棋のプログラムは一流の棋士（機構）を模倣する必要はない．開発されたプログラムは，一流の棋士とは表面上は異なった振る舞い（指し手）を示すかもしれない．しかし，一流の棋士と同等に（あるいはそれ以上に）強かったという事実を，一流の棋士の思考原理に関するなんらかの本質的特性をとらえている可能性が存在している証と考える．現象を直接に模倣するのではなく，それを構成している機構の共通性を探るのである．

図 1 に模倣的シミュレーションと構成的シミュレーションのイメージ図を示す．

本研究は，創造的なデザインプロセスの一部を構成する概念生成プロセスを対象に，構成的シミュレーションを試み，その結果から，デザイナーの思考の特性（思考原理）を推測する．

## 2. 構成的シミュレーションの成立要件

模倣的シミュレーションによって現象をシミュレートする際は，それを生成する機構に根拠が求められる．機構の根拠を明確に示せない場合，シミュレーションに妥当性がないと判断される．なお，部分的であれば根拠がなくても，模倣的シミュレーションは成立する．その場合，根拠のないパラメータ等は仮説となる．そして，その仮説は，生成された現象を実際の現象とつきあわせることで検証される．

一方で，構成的シミュレーションでは，機構の根拠を知りたい現象の機構に求めることはしない．なぜならば，もともと，機構の観測が困難な現象や分析の困難な現象を対象とするからである．たとえば，将棋に強いプログラムを作る場合，強い棋士の思考原理にアルゴリズム（機構）の根拠を置くことはしない．とにかく，強いプログラムを作ってみせるところから議論が始まる．しかし，手あたり次第に，いろいろなアルゴリズムを計算機に実装すればよいというわけではない．プログラム開発者は，なんらかの考え方のもとに開発するはずである．したがって，そのプログラムの根拠を説明することはできるであろう．構成的シミュレーションが学術的手法としての地位を確保するためには，シミュレーションが，他者からの批判とそれに対する回答をとおして，議論を蓄積できるようになっていなければならない．構成的シミュレーションは，その機構を説明することを求める．しかし，あくまでも，説明である．

つぎに，構成的シミュレーションの成立要件について述べる．生成された現象が，実際に観測される現象に類似ないし相似している現象を創発した場合，その構成的シミュレーションは成立している，と考える．将棋の例でいえば，プログラム（機構）の実行の結果，強いという現象（指し手）が確認されるようなことである．

そして，その強い将棋のプログラムの特性から，強い棋士の思考の特性（思考原理）を推測することを行う．したがって，構成的シミュレーションでは，知りたい現象と類似あるいは相似の現象を創発する機構を試作することを通じて，最後に，知りたい現象およびそれを生成する機構に関する仮説が示される．

## 3. 目的と方法

本研究は,「構成的シミュレーション」の観念に基づき，概念生成プロセスをシミュレーションするこ

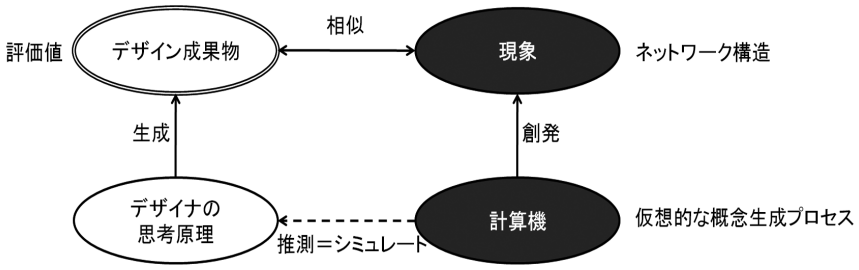



**図 2** 概念生成プロセスの構成的シミュレーションのフレームワーク

とを試みる．そして，創造的なデザイン成果物を導く思考原理に関する仮説を導出する．

### 3.1 対象とする概念生成プロセス

本研究では，概念生成プロセスの基礎として，2 つの概念（以降，基底概念）を統合するプロセス（以後，“2 概念統合プロセス”と呼ぶ）を扱う．この 2 概念統合プロセスは，最もシンプルで基本的な概念生成プロセスとされている (Lubart, 1994; Rothenberg, 1979)．このプロセスでは，与えられた基底概念から生成される最後の概念がデザイン成果物である．なお，本研究では，筆者の一部が示した (永井ら, 2009) のと同様に,「概念」とは,「人間が心の中に抱く，既存あるいは将来存在可能な実体あるいはその類や属性に関する表象」とする．

### 3.2 仮想的な概念生成プロセスを生成する機構の説明

#### 3.2.1 意味ネットワークによる機構の実装

本研究では，実際に人間が行った概念生成プロセスについて，その始点（単語を用いて表現された基底概念）と終点（デザイン成果物）の間を，計算機を用いて「仮想的に」繋ぐことを行う．それを「仮想的な概念生成プロセス」と呼ぶ．その際，終点には，デザイン成果物を説明する語の集合を用いる（詳細は後述する）．そして，本研究では，語の集合（基底概念）と語の集合（デザイン成果物）の間を結ぶ方法として，意味ネットワークを用いる．近年，デザイン研究の分野において，意味ネットワークを使った研究がなされてきている (Chiu & Shu, 2007; Georgiev et al., 2008; 森田ら, 2008)．意味ネットワークとは，上位語と下位語の関係や連想関係など，単語間の意味的関係からなる構造のことである．意味ネットワークを用いることにより，ある

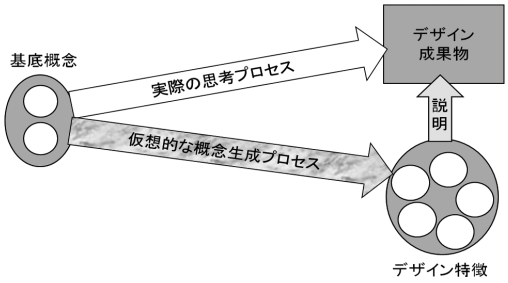



**図 3** 仮想的な概念生成プロセス

単語からある単語への概念の経路を探索することができる．本研究では，基底概念からデザイン成果物へ至るまでの仮想的な概念生成プロセスを，概念間の経路として意味ネットワーク上に探索することを行う（これが，機構を実装する方法となる）．すなわち，仮想的な概念生成プロセスを，意味ネットワークの一部分として表現することを試みる．

図 2 に本研究のフレームワークを示す．なお，図中の「ネットワーク構造」と「デザイン成果物（の評価値）」との「相似」の確認方法については，3.3 節で述べる．

#### 3.2.2 仮想的な概念生成プロセスの生成方法

図 3 に仮想的な概念生成プロセスのイメージを示す．本研究では，デザイン成果物の代替に,「デザイン特徴」を用いる．デザイン特徴とは，デザイナーがデザイン成果物を説明するために箇条書きに記述した語の集合である．デザイン特徴はデザイン成果物そのものではないが，デザイン成果物の内容は捉えていると考える．

前述のように，仮想的な概念生成プロセスは，基底概念からデザイン特徴までの経路を意味ネットワークを探索して構築される．ここで，意味ネット

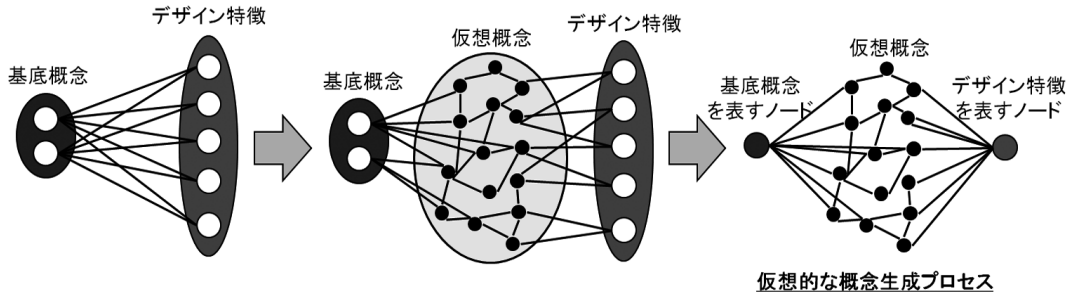



**図 4** 仮想的な概念生成プロセスを生成する手順

ワークのノードは単語ではなく単語の意味である．探索された経路に現れる基底概念やデザイン特徴以外の概念を「仮想概念」と呼ぶ．仮想概念は，下記の手順により仮想的に求められるものであって，あくまでも「仮想」である．そのように「仮想的」に構築されたプロセスが，実際のデザインの現象とどのような関係があるかを議論することが本研究の主題である．図 4 に，仮想的な概念生成プロセスを生成する手順のイメージ図を示す．

この手順は，次の 3 つの工程から成る．ここで，各基底概念とデザイン特徴はそれぞれ 1 単語で表現され，基底概念を $b_i$，その集合を $B$，デザイナーを $s$，デザイナーがデザイン成果物を説明する語（デザイン特徴）を $f_j$，その集合を $F(s,B)$ とする．また，意味の識別番号を $k$ とするとき，単語 $w$ が表す意味を $w:k$ とし，その集合を $M(w)$ とする．

工程 1. 意味ネットワーク上で，基底概念とデザイン特徴間の最短経路を探索する（図 4 の第 1 図）．図 5 に経路探索のイメージを示す．意味ネットワークでは，各ノードは語の意味を示し，ノード間のリンクは上下階層間にある間の関係を示している．そこで，意味ネットワークを用いることにより，基底概念 $(b_i)$ とデザイン特徴 $(f_j)$ 間の経路が，$M(b_i)$ の要素（意味）から $M(f_j)$ の要素（意味）への経路 $(Path)$ として抽出される．最短経路が 2 つ以上ある場合は，利用頻度のより高い意味（たとえば，WordNet（後述する）では，各語の持つ意味が利用頻度の順にならんでいる）を辿る経路を抽出する．ここで，経路に現れるノードの数を $n$ としたとき，始点 $v_1$ から終点 $v_n$ までの経路 $Path(v_1,v_n)$ はノード対の集合で表される．$b_i:k \in M(b_i)$，

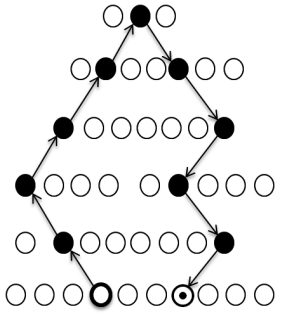


**図 5** 意味ネットワークを用いた経路探索のイメージ：○はノード，→はリンクを表す．○を基底概念 $b_i$ が持つ意味，⊙をデザイン特徴 $f_j$ が持つ意味としたとき，○から⊙に到達するリンクを辿ることで経路が得られる．●は経路に現れるノードを表す．

$f_j:h \in M(f_j)$ の $Path(b_i:k, f_j:h)$ は次のように表せる．

$$Path(b_i:k, f_j:h) = \big\{(b_i:k, v_2), (v_2, v_3), \ldots, (v_{n-1}, f_j:h)\big\}$$

同様に，$b_i$ および $f_j$ のすべての意味 $M(b_j)$ および $M(f_j)$ の間について経路を求める．さらに，基底概念の集合 $B$ とデザイン特徴の集合 $F$ との間のすべての組合せについて経路を求める．

工程 2. 経路に現れるノードから基底概念とデザイン特徴に対応するノードを除外する（図 4 の第 2 図）．ノードをその意味を持つもっとも一般的な語（たとえば，WordNet において，登

録の順番の早いものをより一般的な語と考えるならば，登録の順番を示す Word ID を用いて一般性を評価することができる）に置換し，それらを仮想概念 $c_l^m$ として抽出する．これは，基底概念とデザイン特徴が語で表されているように，意味を表現するために語を用いることを模倣するためである．$m$ は経路の番号，$l$ は経路に現れるノードの順序を示す．各経路に現れるノードの数を $n$ で表す．これらの操作により，$b_i$ から $f_j$ への経路の集合 $Path(b_i, f_j)$ を得る．これは次のように表せる．

$$
\begin{aligned}
&Path(b_i, f_j) \\
&= \Big\{ \big\{ (b_i, c_2^0), (c_2^0, c_3^0), \ldots, (c_{n-1}^0, f_j) \big\}, \\
&\quad \big\{ (b_i, c_2^1), (c_2^1, c_3^1), \ldots, (c_{n-1}^1, f_j) \big\}, \ldots\ldots \Big\}
\end{aligned}
$$

工程 3. 基底概念およびデザイン特徴を 1 ノードに集約する．また，同じ仮想概念を 1 ノードに集約する（図 4 の第 3 図）．工程 2 で得られたノードを語に置換した後の経路の集合の和集合 $Path(B, F) = \bigcup_{i,j} Path(b_i, f_j)$ として仮想的な概念生成プロセスが求められる．

### 3.3 仮想的な概念生成プロセスのネットワーク構造分析による創発現象の確認

仮想的な概念生成プロセスからネットワーク理論を用いて構造の特徴を抽出し，実際のデザイン成果物の創造性評価値との相関を分析する．相関が認められたならば，仮想的な概念生成プロセスが実際の概念生成プロセスに相似の創造的特性を創発したととらえ，構成的シミュレーションは成立したと判断する．

ネットワーク理論では，広範囲の統計的な特徴が議論されているが，本研究では，Steyvers & Tenenbaum (2005) の研究で用いられた統計的指標を選択する．この理由を以下に述べる．彼らは，意味ネットワークの持つ構造が複雑な自然のネットワークの構造と必然的に異なるのかどうかを調査するためにそれらの指標を用いる分析を行った．結果として，それらの構造は，必ずしも異なるわけでなく，同じ特徴を有していることを示した．本研究では，概念生成プロセスのモデリングに意味ネットワークを用いている．したがって，構築された仮想的な概念生成プロセスは意味ネットワークの一部と見なすことができる．また，仮想的な概念生成プロセスのベースとなっている実際の思考プロセスはデザイナー自身の思考の一部であり，複雑な自然のネットワークの一部と考えられる．このことから，Steyvers & Tenenbaum (2005) の用いた指標を用いることによって仮想的な概念生成プロセスの特徴を捉えることは適切であると考えた．

本研究では，以下の指標を適用し，仮想的な概念生成プロセスの構造を分析することにした．

- 仮想的な概念生成プロセスの広がりを示す指標として，$n$, $\langle k \rangle$, *Density* を用いる．
- 仮想的な概念生成プロセスの複雑さを示す指標として，$C$, $L$, $D$ を用いる．

デザイナーの思考プロセスの広がりがデザイン成果物の創造性の評価値に関連することが明らかにされている (Nagai & Taura, 2006)．そこで，仮想的な概念生成プロセスにおいても，その広がりの程度が創造的なデザイン成果物の生成に寄与すると考えられる．さらに，人間の知識は，知識とその関係で構成される複雑なネットワークのようなものであり，その複雑さはデザイナーの思考プロセス中にも現れると思われる．そして，そのネットワーク構造の複雑さが，創造的なデザイン成果物を導くと考えられる．

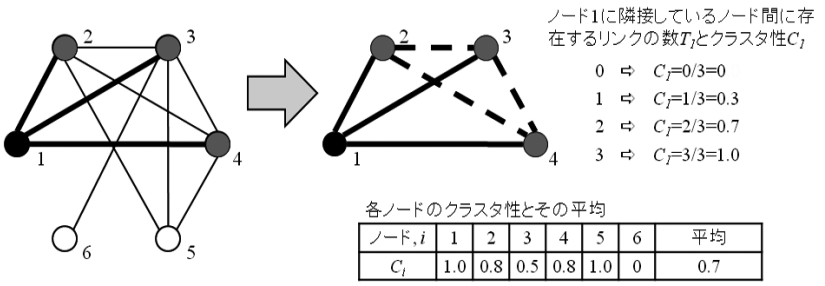
以上のことより，仮想的な概念生成プロセスの広がりや複雑さの程度が，デザイン成果物の創造性に関する評価値に対して，正の相関を持つと推察する．

表 1 に本研究で用いるネットワーク理論における指標の定義を示す．$n$ はネットワークにあるノードの数であり，仮想的な概念生成プロセスに現れる概念の数に相当する．あるノードに直接つながっているリンクの数を次数といい，$\langle k \rangle$ はその次数の平均値，つまり，ネットワーク中のすべてのノードについて次数を求め，その次数の総和をノード数 $n$ で割った値である．これを平均次数と定義する．ネットワークが多くのノードとリンクを持つならば，そのネットワークは大きいと考えられ，ネットワークは広がりを持っていると考えられる．したがって，これらの指標は，ネットワークの広がりの程度を示すと考えられる．

ネットワーク理論では，2 つのノードが直接つながっていることを隣接していると言う．このとき，任意のノードに隣接している 2 つ以上のノードがお互いに隣接している確率はクラスタ性 $C$ と定義さ

**表 1** 本研究で用いたネットワーク理論における指標の定義

| 指標 | 定義 |
|---|---|
| $n$ | ネットワークを構成するノードの数 |
| $\langle k \rangle$ | 平均次数（各ノードに直接つながっているリンクの数の平均） |
| $C$ | クラスタ性（ネットワーク内にできるクラスタとの関わり） |
| $L$ | 平均最短距離（各ノード間の最短距離の平均） |
| $D$ | 最長最短距離（最短距離が最も長いノード間の距離） |
| *Density* | 密度（各ノードが他のノードとリンクしている度合い $= \langle k \rangle / n$） |




| ノード, $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_i$ | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 0 | 0.7 |

**図 6** クラスタ性の計算例

れる．ネットワークトポロジーの用語を用いると，この確率が高いことを，ノード間の「ショートカット」またはノードの「トライアングル」が存在しているという．これらの存在は，複雑なネットワークに共通するものである．言い換えれば，$C$ はネットワークの複雑さの程度を示す．本研究では，次式で求められる各ノードのクラスタ性 $C_i$ の平均値を $C$ とする計算方法を適用する．

$$C_i = T_i \Big/ \begin{pmatrix} k_i \\ 2 \end{pmatrix} = 2T_i / k_i(k_i - 1)$$

$T_i$ はノード $i$ に隣接するノード間に存在するリンクの数，$k_i$ はノード $i$ に隣接するノードの数を示す．$k_i(k_i - 1)/2$ は，ノード $i$ に隣接するすべてのノードがお互いに直接つながっている完全な部分グラフを形成する場合に，ノード $i$ に隣接するノード間に存在しうるリンクの数を表す．図 6 に $C$ の計算例を示す．この例では，ノード 1 に隣接しているノードの数 $k_1$ は 3 であり，存在しうるリンクの数は $k_1(k_1 - 1)/2 = 3(3 - 1)/2 = 3$ である．たとえば，その 3 つのノードのうち 2 つのノード間のみにリンクが存在する場合，$T_1 = 1$ となり，$C_1 = 1/3 = 0.3$ である．

$L$ はネットワーク全体におけるノード間の最短経路の距離の平均を表す．ネットワークの直径 $D$ は各ノード間の最短経路のうち最長経路の距離を表す．これらの指標は，ネットワークのクラスタ性 $C$ と負の相関がある場合が多いと言われている．図 7 に $L$（あるいは $D$）と $C$ の関係を示す．図 7 (a) では，ノード 1 からノード 2，3，4 への最短距離 $L$ はそれぞれ 1，2，3 であり，$D$ は 3 となるが，クラスタ性 $C$ はゼロである．図 7 (b) では，すべてのノード間の最短距離 $L$ は 1 であるので，$D$ は 1 となる．これは，完全グラフであり，クラスタ性 $C$ は 1 である．このように，一般的に，$C$ は $L$（あるいは $D$）に影響される．したがって，$C$ と同様に，$L$ と $D$ の指標もネットワークの複雑さの程度を示すと考える．このことから，$C$ がデザイン成果物の創造性の評価値と有意な相関を持つのであれば，$L$ と $D$ も有意な相関を持つと期待される．

ネットワークの *Density* はネットワークのリンクの密度を示し，$\langle k \rangle / n$ で求められる．ネットワーク中のノード間の関係（リンク）が疎であるとき，*Density* は低くなる．

以上，まとめると，$n$，$\langle k \rangle$，$C$ は，デザイン成果物の創造性に関する評価値と正の相関が，$L$，$D$，

**図 7** 最短距離 $L$（あるいは最大最短距離 $D$）が長いネットワークと短いネットワークの比較

*Density* は，負の相関があると推察される．

## 4. シミュレーションの実行

筆者の一部によって行われたデザイン実験 (永井ら, 2009) について，仮想的な概念生成プロセスを構築することを試みた．そして，得られた仮想的な概念生成プロセスについて表 1 に示される各指標の値を求め，デザイン成果物に対して行われた創造性の評価値との相関を求めた．本研究では，WordNet（後述する）を意味ネットワークとして用いた．また，そのネットワークを可視化し，分析するために，ネットワーク分析ツールである Pajek 1.23（パエック 1.23）を用いた．このツールはネットワーク理論における様々な指標の値を計算できる．WordNet は Linux 環境で，Pajek は Windows OS 上で用いた．

### 4.1 デザイン成果物

筆者の一部が行ったデザイン実験 (永井ら, 2009) では，プロダクトデザインを専攻とする学部学生および大学院生 22 名を被験者とした．デザイン実験では，まず，被験者に対して，2 つの基底概念を起点に，新しい概念をデザインするよう求めた．被験者には，新しくデザインした概念（デザイン成果物）を単にスケッチに描くだけでなく，文章によりそれを説明することも求めた．被験者には予め，デザイン成果物は独創性と実用性の観点から創造性が評価されることを通知した．つぎに，デザイン成果物に対して，それを説明するいくつかの特徴を単語（デザイン特徴）で列挙することを求めた．

実験に用いた基底概念は,「船」と「ギター」,「机」と「エレベーター」の二組（以降,「船_ギター」,「机_エレベーター」と記述する）であり，各組について，新しい概念をデザインすることを被験者に求めた．

結果として,「船_ギター」からは 20 個,「机_エレベーター」からは 19 個のデザイン成果物がデザインされた．表 2 に実験で得られたデザイン成果物とそれを説明するデザイン特徴の例を示す．

デザイン成果物は，Finke, Ward & Smith (1992) の創造性評価の方法に従い，実用性（そのアイデアは実現可能であるか，有用であるか）と独創性（そのアイデアは革新的で新規性があるか）の観点から評価された． 11 名の評価者が，得られたデザイン成果物について，5 段階評価（1: 低い–5: 高い）を行った．それぞれのデザイン成果物毎に評価値の平均値が求められた． 11 名の評価者はいずれも日本人成人（20 歳代から 40 歳代）であり，内訳は男性 7 名と女性 4 名であった．また，デザインの専門性については，デザイン専攻の学生 1 名とデザイン実務経験 3 年以上の者 4 名（うち 3 名はデザインの教育に従事している）の計 5 名が専門的知識を有する者であった．

以降，本研究では，独創性の評価値に関して検討を行う．それは，デザイン成果物の創造性の評価値に直接関係しているのは，独創性の評価値であると考えられるからである．

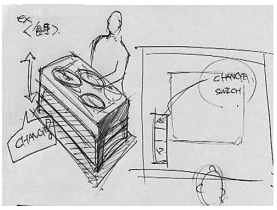
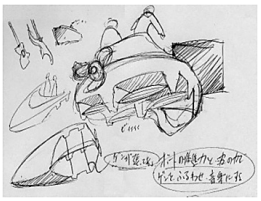
### 4.2 WordNet

WordNet (Fellbaum, 1998) は，言語や概念の処理を支援するために開発された英語で書かれている大規模な概念辞書である．WordNet の開発は，George A. Millar とその同僚たちによって 1985 年に始まった．現在，データベースには 15 万を超える語が収録されている． WordNet では，収録される語が synset と呼ばれる同義語のグループに分類され，簡単な定義や他の語との関係が階層的に記述されている．単語間の関係としては，上位語と下位語，全体を表す語とその部分を表す語 (meronym) の関係が表されている．

今回のシミュレーションでは，前述のように，概念は単語で表される．WordNet では，名詞，動詞，形容詞それぞれについて階層構造があり，異なる品詞の語とのリンクは存在しない．そこで，動詞や形容詞は対応する名詞に置き換えることにした．

本研究においては，仮想的に生成された概念ネットワークの構造と実際のデザイン成果物の創造性評

**表 2** 実験で得られたデザイン成果物とそのデザイン特徴の例

| 基底概念 | デザイン成果物 (スケッチと解説文) | デザイン特徴 |
|---|---|---|
| 机<br>エレベーター |  <br>表層部が上下で切り替え式になっているテーブル．例えば，食事用，パソコン用，読書用といったように，用途ごとに必要なツールが，層状になっている．パソコン用のテーブルと，食事用のテーブルを，一緒にしたくないが，部屋が狭いからテーブルは一つしか置けないという人がターゲットユーザ． | ボタン<br>フラット<br>読書<br>チェンジ<br>層状<br>スウィッチ<br>食事<br>上下<br>お弁当箱<br>インテリア<br>PC |
| 船<br>ギター |  <br>波を使ったギター．ボートの推進力と水面の波を使って弦をふるわせ，音を作る．レジャー施設で貸し出しされ，客が楽器として乗りまわすボート．デュエットも可能． | レジャー<br>ライブ<br>反応<br>スポーツ<br>興奮作用<br>共鳴 |

価値との相似性が重要である．したがって，日本語で獲得された語を英語に翻訳し，英語版の WordNet を用いてシミュレーションを行い，相似性が現れるとしたらそれはシミュレーションの有効性の補強になる．

### 4.3 仮想的な概念生成プロセスの生成

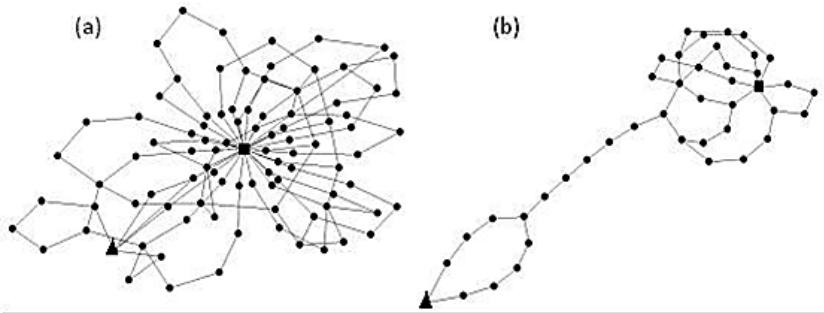
上述の 39 個の各デザイン成果物について，各概念を英語に変換し，上述した前処理を行った後，3.2.2 節で述べた手順により，仮想的な概念生成プロセスを生成した．具体的には，計算機上に WordNet を移植し，計算機プログラムにより各 *Path* を探索し，仮想的な概念生成プロセスを生成した．図 8 に Pajek で可視化した仮想的な概念生成プロセスの 2 つの例，及び，それらのデザイン成果物の独創性の評価値とネットワークの指標の値を示す．

### 4.4 実際の概念生成プロセスとの相似的関係の検証

仮想的な概念生成プロセスの構造とデザイン成果物の独創性に関する評価値との関係を求めた．

表 3 に示すように，$\langle k \rangle$ は独創性の評価値の平均値と有意な正の相関 ($p < 0.05$) が，*Density* は独創性の評価値の平均値と有意な負の相関 ($p < 0.05$) がそれぞれあることが分かった．独創性の評価値の平均値と $\langle k \rangle$ の関係の散布図を図 9 に示す．さらに，$n$ と独創性の評価値の平均値との間には有意傾向の正の相関があった ($p < 0.1$)．

また，$L$ も独創性の評価値の平均値と有意な負の相関 ($p < 0.05$) があることが分かった．




| | Practicality | Originality | $n$ | $\langle k \rangle$ | C | L | D | Density |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (a) | 3.6 | 3.5 | 93 | 2.69 | 0.06 | 3.88 | 9 | 2.89% |
| (b) | 2.2 | 2.7 | 43 | 2.33 | 0 | 6.26 | 16 | 5.41% |

**図 8** 仮想的な概念生成プロセスの例：(a) 高い評価値を得たデザイン成果物，(b) 低い評価値を得たデザイン成果物に対するネットワーク．図中の▲は基底概念を表すノード，■はデザイン特徴を表すノード．

**表 3** デザイン成果物の独創性の評価値と仮想的な概念生成プロセスの指標の値との相関分析

| | $n$ | $\langle k \rangle$ | $C$ | $L$ | $D$ | $Density$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ピアソンの相関係数 | 0.290+ | 0.352* | 0.103 | −0.320* | −0.201 | − 0.398* |
| 有意確率 | 0.073 | 0.028 | 0.533 | 0.047 | 0.220 | 0.012 |
| データ数 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |

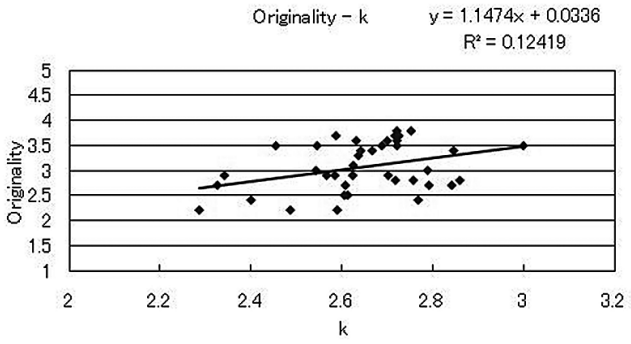



**図 9** 独創性の評価値の平均値と $\langle k \rangle$ の関係

なお，順位相関を求めたところ，$\langle k \rangle$ と $L$ については，有意傾向 ($p < 0.1$) が認められ，独創性の評価値の平均との相関が妥当であることを裏付けた．一方，$n$ の順位相関は $p = 0.103$，$Density$ の順位相関は $p = 0.121$ であり，有意性が認められなかった．これは，$n$ と独創性の評価値の平均値との間の相関が弱いことが，$n$ と $\langle k \rangle$ で求められる $Density$ の順位相関に影響したと考えられる．これらのことから，$\langle k \rangle$ と L が，独創性の評価値の平均値と妥当な有意な正または負の相関があるといえる．

この結果は，仮想的な概念生成プロセスが，実際の概念生成プロセスと相似の現象（創造的特性）を創発したことを示しており，よって，今回実行した構成的シミュレーションは成立したと判断する．

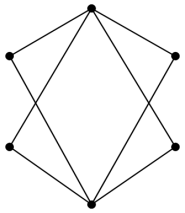


**図 10** クラスタ性の低いネットワーク

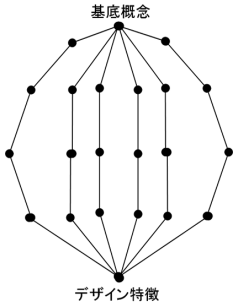



**図 11** 仮想的な概念生成プロセスの構築過程に生成されるネットワーク

### 4.5 相関分析の結果に対する考察

表 3 の結果では，複雑さに関する他の 2 つの指標である $C$ と $D$ については創造性の評価値との間に有意な相関を見ることはできなかった．この点について図 10 を用いて考察する．この図で $C$, $D$, $L$ をそれぞれ計算すると，$C = 0$, $D = 2$, $L = 1.47$ になる．すなわち，このネットワークでは，クラスタ性は極めて低いということが分かる．ここで，仮想的な概念生成プロセスの構築手順を振り返ってみる．工程 1 では，基底概念からデザイン特徴への *Path* がそれぞれの組合せについて求められる．この段階では，ネットワークは図 11 のようになっており，クラスタ性はゼロである．その後の工程 3 において，同じ仮想概念が集約されると，クラスタ性が生じてくる．一方で，図 11 においては，ノード間の最短経路の平均である $L$ には，基底概念とデザイン特徴の間の平均的な *Path* の長さが大きく影響すると考えられる．

このように，仮想的な概念生成プロセスのネットワークは，図 10 や 11 のような特定の構造を有する傾向があるので，3.3 節で示した一般的に成立する $C$ と $L$ の関係が必ずしも成立しないと思われる．また，$D$ はノード間の最短距離の最大値であるので，それが独創性と関係がなかったということは，基底概念からデザイン特徴への「平均的」な *Path* の長さがデザイン成果物の独創性に関係があることを示唆している．

## 5. デザイナーの思考原理に関する仮説の検討

第 4 節の結果は，創造的思考のプロセスにパターンの存在することを示唆している．デザイナーの思考パターンについては，従来から数多くの研究が行われている (Goldschmidt, 1990; Van der Lugt, 2002; Kan et al., 2007; Georgiev et al., 2008)．しかし，創造的デザイン成果物を生成する具体的な思考原理は明らかにされていない．

本研究では，同一の意味ネットワークを用いて，各デザイナーの仮想的な概念生成プロセスを求めている．このことは一般的に，多様なデザイナーによって多様なデザイン成果物（デザイン特徴）が生成されることについて，その多様性が，デザイナーの概念構造の違いからではなく，思考の進め方（思考原理）から生じることを示唆している．とりわけ，今回のシミュレーションの結果は，「思考プロセスのネットワーク構造の特性がデザイン成果物の創造性と関係ある」ことを示唆している．この関係は，創造的デザインの思考原理に関する具体的な仮説を導く．

本研究では，仮想的な概念生成プロセスを，意味ネットワーク上に概念間の関係をたどりながら構築した．その仮想的な概念生成プロセスが実際の概念生成プロセスと相似であったことは，創造的なデザイン成果物を導く思考原理が，基本的には，概念の逐次的な連鎖（連想プロセス）であることを示唆している．デザインの創造的思考における飛躍の存在は多く指摘されている (たとえば，Cross, 2006)．一方では，漸進説も提唱されている (Weisberg, 1986; Brown, 2010)．本シミュレーションの結果より，「デザインにおける創造的な思考プロセスが非連続的にみえるのは，本来は連続的であるプロセスが，部分的に潜在化してしまうためである」という仮説が導かれる．

## 6. 今後の課題

創造的なデザイン成果物を導く概念生成プロセスそのものをとらえるためには，概念の連想過程そのものをシミュレーションすることが必要である．

そのためのひとつの方法は，方向性のある意味ネットワークを用いることである．そのような意味ネットワークとしては，連想概念辞書がある (Okamoto & Ishizaki, 2001)．しかしながら，現時点までに公開されている連想概念辞書は，語彙数が十分でないので適用できない．

もうひとつは，何らかの生成規則を用いて，プロセスの生成を始点から逐次的に行う，という方法である．しかし，この方法では，果たして，人間が導きだしたデザイン特徴にどのような生成規則を用いれば行きつくか，解明すべき課題が数多くある．逆にいうと，この課題を明らかにすることが，創造的なデザイン成果物を生成する思考原理の「動的」な特性を解明することになろう．

本研究は，「言葉による概念生成」に焦点をあてた．しかし，デザイン全般はより広範囲の活動であり，形態や機能をともなった実態のイメージを扱うものである．言葉のみならず，多様なイメージについても概念生成研究の対象とするためには，どのような方法が可能であるかということから検討していく必要があるだろう．今後の重要な課題として取り組みたい．

## 7. おわりに

本研究では，構成的シミュレーションを実行した結果をもとに，デザイナーの思考原理に関するいくつかの「仮説」を導出した．しかし，導出したにとどまっている．もともと観測の困難な現象を対象にしているので，これらの仮説が実験的に検証されることは今後とも難しいと思われる．今後，我々が，「仮説」の妥当性を議論できるとしたら，「整合性」の観点からではないだろうか．いろいろな角度から「構成的」にアプローチし，そこから導かれる仮説が他のアプローチから導かれた仮説と整合していた場合，その仮説の妥当性は高まったと言えよう．逆にいうとそういう方法しかない．

そして，数多くの妥当な仮説が導かれたときに，構成的研究手法が陽に評価された（広く受け入れられた）と考える．

## 謝 辞

これまでの度重なる査読プロセスのなかで，査読者の方々からは貴重なコメントを得ることができた．また，編集担当者には，辛抱強く対応して頂いた．これらの方々に対し，心より感謝申し上げます．

## 文 献

Brown, D. C. (2010). The curse of creativity. J.S. Gero (Ed.), *Design computing and cognition '10*, 157–170, Springer.

Chiu, I., & Shu, L. H. (2007). Using language as related stimuli for concept generation. *AI EDAM*, **21**, 103–121.

Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. Birkhauser.

Fellbaum, C. (1998). *WordNet: An Electronic Lexical Database*. MIT Press, Cambridge, MA.

Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1992). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. MIT Press, Cambridge, MA.

Georgiev, G. V., Taura, T., Chakrabarti, A., & Nagai, Y. (2008). Method of design through structuring of meanings. *Proceedings of ASME Computers and Information in Engineering Conference*, DETC2008-49500, CD-ROM.

Goldschmidt, G. (1990). Linkography: Assessing design productivity. R. Trappl (Ed.), *Cybernetics and System '90 World Scientific*, 291–298.

Kan, J. W. T., Bilda, Z., & Gero, J. S. (2007). Comparing entropy measures of idea links in design protocols: Linkography entropy measurement and analysis of differently conditioned design sessions. *AI EDAM*, **24**, 367–377.

Lubart, T. (1994). Creativity. R. J. Stenberg (Ed.), *Thinking and problem solving*, 289–332. Academic Press, USA.

森田 純哉・永井 由佳里・田浦 俊春・岡田 亮士 (2008). 概念合成によるコンセプトのデザインと連想：概念の連想数と動作概念の役割. 『認知科学』, **15**, 599–614.

Nagai, Y., & Taura, T. (2006). Formal description of concept-synthesizing process for creative design. J. S. Gero (Ed.), *Design computing and cognition '06*, 443–460, Springer.

永井 由佳里・田浦 俊春・向井 太志 (2009). 創造的概念生成プロセスにおける概念合成と差異性の役割—言語解釈タスクとデザインタスクの比較—. 『認知科学』, **16**, 209–230.

中島 秀之 (2008). 構成的研究の方法と学問体系—シンセシオロジーとはどういう学問か?—. 『Syn-

thesiology』, **1**, 305–313.
Okamoto, J., & Ishizaki, S. (2001). Associative concept dictionary construction and its comparison with electronic concept dictionaries. *PACLING 2001*, 214–220.
Pajek-Program for large network analysis. Version 1.23. `http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/`
Rothenberg, A. (1979). *The Emerging Goodness: The Creative Process in Art, Science, and Other Fields*. University of Chicago Press, Chicago, USA.
Steyvers, M., & Tenenbaum, J. B. (2005). The large-scale structure of semantic networks: Statistical analyses and a model of semantic growth. *Cognitive Science*, **29**, 41–78.
Van der Lugt, R. (2002). Functions of sketching in design idea generation meetings. *Conference on Creativity & Cognition, C & C'02*, Loughborough, 72–79.
Weisberg, R. W. (1986). *CREATIVITY: genius and other myths*. W. H. Freeman and Company, New York. (大浜 幾久子 訳 (1991). 『創造性の研究—つくられた天才神話』. メディアファクトリー.)

(Received 28 Sep. 2010)
(Accepted 15 Feb. 2011)

**田浦 俊春** (正会員)

1977 年東京大学工学部精密機械工学科卒業. 79 年同大学院精密機械工学専攻修士課程修了. 新日本製鐵株式会社, 東京大学人工物工学研究センター助教授等を経て, 99 年神戸大学大学院自然科学研究科教授, 2007 年同工学研究科教授 (改組), 09 年同自然科学系先端融合研究環重点研究部教授 (工学研究科教授兼担), 11 年副研究環長. 博士 (工学). 工学や認知科学等を貫く「デザイン学」の構築を志している. The Design Society (Advisory board, Leader of SIG Design Creativity), Design Research Society (Fellow), 精密工学会 (元副会長), 日本機械学会, 日本デザイン学会などの会員.

**山本 英子** (正会員)

2002 年豊橋技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了. 博士 (工学). 独立行政法人情報通信研究機構自然言語グループ有期研究員, 神戸大学大学院工学研究科講師等を経て, 2011 年度より岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授. 自然言語処理, 情報抽出, 自然言語処理の他分野への融合に関する研究に従事. The Design Society, 言語処理学会, 日本機械学会, 精密工学会, 日本デザイン学会各会員.

**Nor Fasiha Mohd Yusof**

2001 年 3 月埼玉大学工学部機械工学科卒業. 2001 年 4 月より 2003 年 9 月までマレーシア松下電機株式会社に在籍. 同年 10 月より 2005 年 5 月まで Universiti Teknologi Malaysia 機械工学部デザイン学科助手. 2006 年 12 月同学大学院工学研究科修士課程修了. 2007 年 9 月まで同学機械工学部デザイン学科准講師. 現在, 神戸大学大学院工学研究科博士課程後期課程に在学中. デザインにおける創造性についての研究に従事.

**伍賀 正典**

2007 年神戸大学自然科学研究科博士後期課程修了. 神戸大学大学院工学研究科学術推進研究員, 兵庫県立工業技術センター研究員を経て, 現在福山大学工学部電子・ロボット工学科講師. 博士 (工学). 進化ロボティクス, 身体性認知科学, 創発システムとそれらの相互作用・工学的応用に興味を持っている. 日本機械学会, 人工知能学会, 精密工学会, 各会員.

**永井 由佳里** (正会員)

修士（武蔵野美術大学, 1990），博士（千葉大学，2002），Ph. D (University of Technology, Sydney, 2009) の学位を取得．筑波技術短期大学講師，Loughborough University 客員研究員（文科省派遣）を経て 2004 年より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助教授（2011 年，教授）．デザインと創造性を研究課題に，Creativity and Cognition (ACM)，SIG Design Creativity (The Design Society) の運営に努める他，国内外ジャーナルでデザイン学および関連の特集を担当．The Design Society, Cognitive Science Society, ASME, ACM 会員, Design Research Society Fellow.

**中島 秀之** (正会員)

1983 年，東京大学大学院情報工学専門課程修了（工学博士）．2004 年より公立はこだて未来大学学長．認知科学会元会長，情報処理学会編集長．主要編著書：Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments (Springer)，知能の謎（講談社ブルーバックス），AI 事典（共立出版），思考（岩波講座認知科学 8），Prolog（産業図書）．