

# アイデア進化：進化計算を用いた大規模オンラインアイデア創造

## Idea-Evolution: Evolutionary Computation Assisted Massive Online Ideation

苗村 伸夫<sup>†</sup>, 長谷部 達也<sup>†</sup>  
Nobuo Namura, Tatsuya Hasebe

<sup>†</sup>株式会社日立製作所  
Hitachi, Ltd.  
nobuo.namura.gx@hitachi.com

### Abstract

We propose a massive online ideation method named Idea-evolution to achieve efficient idea generation among people in remote locations and different time zones. The Idea-evolution consists of evolutionary computation (an optimization algorithm) and brainwriting (an offline ideation technique). The evolutionary computation selects nine good ideas for each user from those proposed by other participants on the basis of their scores. Subsequently, a brainwriting-like interface enables the user to propose three ideas using the nine selected ideas as hints to derive new ideas. The Idea-evolution was applied to ideation with more than 30 participants and compared with simple online brainwriting. Results showed that the Idea-evolution can stabilize growth of the scores over time because it continuously provides the good ideas as hints.

**Keywords** — Interactive evolutionary computation, Brainwriting, Online brainstorming, Interface

### 1. 緒言

革新的な製品・サービスに関するアイデア創造では、ブレインストーミング(以下, BS)が広く用いられる。BSは、全参加者に発言の機会を確保するため、一般的に3-10人程度で行われることが多い。しかしながら、アイデアの多様性および質の向上には、参加者を増やし、多様な視点からアイデアを提案・修正することが望ましい。また、BSは、会議室などに集まって実施されることが多いが、遠隔地や海外からの参加者など、空間的または時間的に集合することが困難となる場合がある。

これらを顧みて、オンラインBSに関する研究が多数なされている。オンラインで他者のアイデアを参照することで、単独でアイデアを出すよりもアイデアの独創性が高まることが示されており[1]、参加人数を増やして集合知をアイデア創造に活用することが提案されている[2]。近年では、クラウドソーシングによって多数の参加者を募り、オンラインBSが行われることもある[3]。Chanら[4]は、クラウドソーシングを用いた

オンラインBSにファシリテータを導入するためのシステムを提案し、ファシリテータによってアイデアの独創性が高まることを明らかにした。このシステムでは、ファシリテータがBSをモニタリングしてヒントを設定し、参加者が必要な時にヒントを参照することで、オンライン環境でのファシリテーションを実現している。Wangら[5]は、公共サービスの広告作成に関するBSをクラウドソーシングで行い、独創的なアイデアをヒントとして提示することで、ヒントがない場合よりも得られるアイデアの独創性が高まることを明らかにした。一方、一般的なアイデアを提示しても得られるアイデアの独創性には影響がないことが示された。SakamotoとBao[6]は、ヒントとして提示するアイデアの選択に、遺伝的アルゴリズムに用いられるトーナメント選択を導入し、優れたアイデア(良案)を優先的に提示することで、独創性が高まることを確認した。

オンラインBSでは、多数の参加者がアイデアを提案するため、得られるアイデアも莫大な数となる。したがって、参加者が大量のアイデアから良案を見つけ出してヒントとするためには、上述のファシリテータやトーナメント選択のような工夫が必要となる。オフラインで他者のアイデアをヒントとして積極的に活用する技法の1つにブレインライティング(以下, BW)[7]がある。BWは、各参加者が紙に自身のアイデアを3個記入し、全員が記入したところで紙を隣の参加者に回して、他者が記入したアイデア(原案)をヒントに新たなアイデアを3個記入するという操作(以下, 派生)を繰り返すことで、大量のアイデアを取得する強制連想法である。BWは会話を必要としないため、オンラインでのアイデア創造に適している[8]。

本研究では、遠隔地の多数の参加者によるアイデア創造を実現するため、BWと対話型進化計算[9]を融合した大規模オンラインアイデア創造手法「アイデア進化」を提案する。アイデア進化は、ユーザインターフェースを備えたアプリケーションとして実装され、同

様のインターフェースを用いたオンライン BW と比較することで、その特徴を明らかにする。

## 2. アイデア進化

アイデア進化では、BW における原案を対話型進化計算によって選択する。対話型進化計算では、個々のアイデアの評価値に基づいてアイデアを選択するため、BW の枠組みにアイデアの評価機能を追加する必要がある。本章では、これを実現するためのユーザインターフェースおよびアイデア進化のアルゴリズムについて説明する。また、比較対象として用いるオンライン BW のアルゴリズムについても述べる。

### 2.1. ユーザインターフェース

アイデア進化に用いるユーザインターフェースを図 1 に示す。このインターフェースは、アイデア創造のテーマや詳細、使い方の説明文に加えて、以下の 3 つの機能を備えている。

1. 9 個の原案の表示
2. ユーザによる原案の評価
3. ユーザが提案するアイデアの入力

まず、ユーザが自身の ID 番号を入力し、開始ボタンをクリックすると、アイデア進化またはオンライン BW のアルゴリズムに基づいて原案が選択され、図 1 の 9 個の灰枠内に表示される。次に、ユーザは表示された 9 個の原案を確認し、主観的に「良い」と判断できる原案に対して、原案の下に位置する投票ボタンにチェックを入れることで原案の質を評価する。最後に、ユーザは、列ごとに原案をヒントとして派生した自身のアイデアを赤枠に入力し、提出ボタンをクリックすることで提案を行う。なお、開始時には原案となるアイデアが存在しないため、灰枠に原案は表示されず、ユーザは自由に自身のアイデア(初期アイデア)を 3 個入力する。

アイデア進化では、図 1 の各列をアイデアの家系と考え、提案された第  $n+1$  世代のアイデアは、第  $n$  世代のアイデアを親とする子であるとみなす。同じ家系に属するアイデアは同じ初期アイデアを祖先に持ち、同じ方向性を有すると考えられる。図 1 では 3 個の家系が表示されているが、アイデアの多様性を確保するため、本研究では 12 個の家系を用いている。インターフェースに表示される家系および原案は、後述のアルゴリズムによって、ユーザが替わるごとに更新される。

### 2.2. アイデア進化アルゴリズム

アイデア進化では、「良案を原案とすると、さらなる良案が得られる確率が高まる」という仮説の下、投票ボタンによるアイデアの評価に基づいて、対話型進化計算によって原案を選択する。図 1 のインターフェースを用いたアイデア進化の手順を図 2 に示す。まず、ユーザがインターフェースに ID 番号を入力し、開始ボタンをクリックすると、ID 番号がシステムに保存され、ログインが完了する。次に、過去の参加者が提案した既存のアイデア数と家系の数 (12 個) を比較する。アイデア数が家系の数未満の場合、原案は表示せず、ユーザが入力した 3 個のアイデアを初期アイデアとして保存する。この操作は提出ボタンによって実行され、初期アイデアは提案者の ID 番号とともに保存される。一方、既存のアイデア数が家系の数以上の場合、インターフェースに表示するアイデアを家系選択と個体選択の二段階で選択する。家系選択では 12 個の家系から 3 個を選択し、個体選択では選択された各家系において、家系に属する全アイデアから 3 個のアイデア(個体)をそれぞれ選択する。

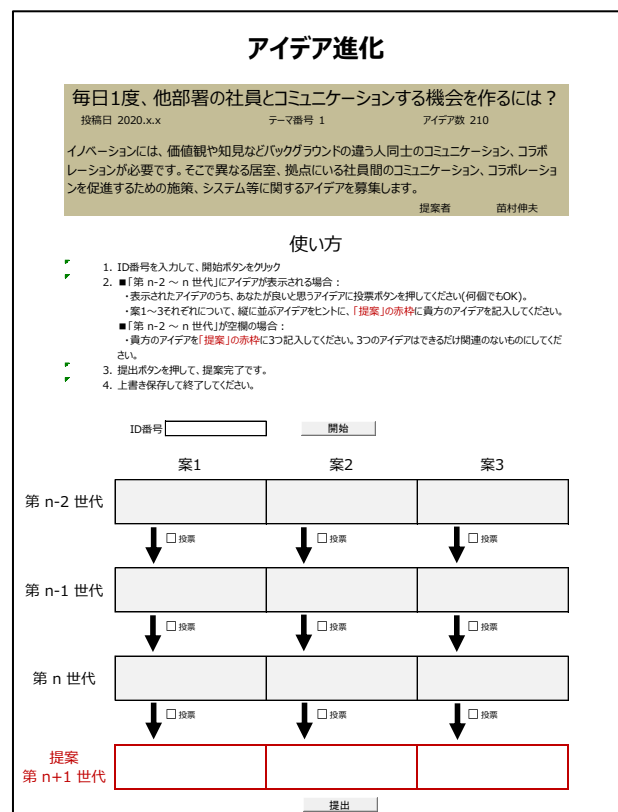


図 1 ユーザインターフェース

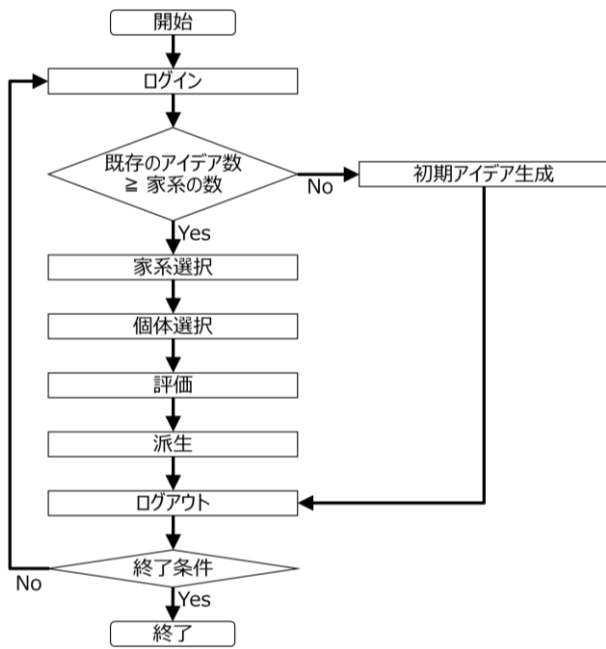


図2 アイデア進化アルゴリズム

家系選択と個体選択では、各個体に対する過去の参加者の評価を用いて、確率的に原案として表示する家系および個体を選択する。各個体の評価は、以下の式で定義される個体得点率(Individual Score Rate: ISR)によって定量化される。

$$ISR_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{I_{i,j}} \quad (1)$$

ここで、 $ISR_{i,j}$ 、 $I_{i,j}$ 、 $S_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_p$ ,  $j = 1, 2, \dots, J_i$ ) はそれぞれ家系番号  $i$ 、世代数  $j$  の個体の個体得点率、表示回数、得点数であり、 $N_p$  は家系の総数、 $J_i$  は  $i$  番目の家系に属する個体の総数である。前述の通り、本稿では  $N_p = 12$  を用いる。世代数は、初期アイデアを第1世代とし、第1世代の個体の派生で生成された個体が第2世代となるように、初期アイデアから何回の派生を経て得られた個体であることを示す。表示回数および得点数は、その個体が図1のインターフェースに原案として表示された回数と、そのうち投票ボタンにチェックが入った回数である。したがって、 $ISR_{i,j}$  は、その個体が参加者によって良案と評価され、投票ボタンにチェックが入る確率を表す。一方、各家系の評価には、家系得点率(Family Score Rate: FSR)を用いる。 $i$  番目の家系の家系得点率  $FSR_i$  は、以下の式で定義される。

$$FSR_i = \frac{\sum_{j=1}^{J_i} S_{i,j}}{\sum_{j=1}^{J_i} I_{i,j}} \quad (2)$$

$FSR_{i,j}$  および  $ISR_i$  は  $I_{i,j}$  が小さい場合、ごく少数の参加者の評価に依存し、妥当な値が得られない可能性がある。本研究では、1, 2回の表示では妥当な評価が得られないと仮定し、以下の修正家系得点率  $FSR'_i$  および修正個体得点率  $ISR'_i$  を用いる。

$$FSR'_i = \begin{cases} c & \text{if } I_{i,1} = 0 \\ f\left(\frac{\sum_{j=1}^{J_i} S_{i,j}}{\sum_{j=1}^{J_i} I_{i,j}}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$ISR'_{i,j} = \begin{cases} c & \text{if } I_{i,j} = 0 \\ 0 & \text{if } I_{i,j} > 1 \text{ and } S_{i,j}/I_{i,j} < 0.5 \\ f\left(\frac{S_{i,j}}{I_{i,j}}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$f(x) = \begin{cases} \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(\frac{x}{a} - 1\right)\right] + b & \text{if } x < a \\ \frac{\pi}{2}\left(\frac{x}{a} - 1\right) + b & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$a = 3, \quad b = 1.5, \quad c = 2$$

ここで、 $f(x)$  は補正関数であり、係数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  は補正の強弱を調整するパラメータである。補正関数および係数  $c$  は、表示回数が極端に少ない家系および個体（本研究では1, 2回）の  $FSR'_i$ 、 $ISR'_{i,j}$  を相対的に高める働きがある。これによって、 $I_{i,j}$  が相対的に少ない家系、個体を優先的に選択し、家系得点率および個体得点率の推定精度を高めることができる。なお、個体選択では2回以上表示されたにも関わらず、半数以上の参加者から得点を得られなかった個体の  $ISR'_{i,j}$  を0に置換する操作を加えている。これは、有力でないアイデアを早期に放棄し、他の有力なアイデアの表示回数を増やして、個体得点率の推定精度を高めるための操作である。

家系選択では、各家系に対して  $FSR'_i$  を計算し、その総和に対する割合を、家系の選択確率として用いる。すなわち、 $i$  番目の家系の選択確率  $P_i$  は下記となる。

$$P_i = \frac{FSR'_i}{\sum_{i=1}^{N_p} FSR'_i} \quad (6)$$

本研究では、この選択確率を用いて、 $N_p$  個の家系から異なる3個を選択する。同様に個体選択では、家系番号  $i$  が選択された場合における、家系番号  $i$  に属する世代数  $j$  の個体の選択確率  $p_{j|i}$  を用いて、 $J_i$  個から異なる3個体を選択する。

$$p_{j|i} = \frac{ISR'_{i,j}}{\sum_{j=1}^i ISR'_{i,j}} \quad (7)$$

個体選択では、ユーザ自身が過去に提案したアイデアを本人に向けて表示しないようにするため、現在のユーザの ID 番号と一致する提案者を持つ個体の  $ISR'_{i,j}$  を 0 に置換する。家系・個体選択が完了すると、各家系から選択された 3 個体を、世代数に従って並び替え、図 1 のインターフェースの上から下に向かって世代数の小さな個体から順に表示する。

図 2 の評価では、ユーザが投票ボタンを用いて表示された各個体を評価し、派生では、ユーザが原案をヒントに自身のアイデアを提案する。最後に、ユーザが提出ボタンをクリックすると、原案の  $I_{i,j}$ ,  $S_{i,j}$  が更新され、新たな個体が各家系に登録される。派生は、前世代の個体から次世代の個体を生成するため、進化計算における交叉や突然変異に該当する。通常の対話型進化計算では、個体の評価のみを人間が行い、個体の生成はアルゴリズムによって自動的に行われる。一方、アイデア進化では個体生成を派生によって人間が担当することで、人間の創造力を最大限に活かすことができる。よって、派生は、表示された複数のアイデア間の交叉と、参加者の創造力による突然変異が組み合わさったものと解釈できる。アイデアについても、自然言語処理などを用いて単語の組合せから新たな個体を自動的に生成することは可能であり、そのような発想支援手法も提案されている[10]。しかし、アイデアの創造という高度な手続きは、今日の進化計算や人工知能が得意とするところではなく、人間が担当する方が効率的に良案を得られると考えられるため、本研究では人間による派生を用いている。

### 2.3. オンラインブレインライティング

オンライン BW のアルゴリズムの大部分は、図 2 と同様であるが、アイデア進化とは家系・個体選択の方法が異なる。オンライン BW の家系選択では、 $N_p$  個の家系から異なる 3 個をランダムに選択する。また、個体選択では、選択された家系に属する最新の 3 個体が常に選択、表示される。このように、オンライン BW では家系・個体選択に、各家系および個体の評価を用いない点がアイデア進化とは異なる。アイデア進化では確率的に個体を選択するため、表示回数は個体ごとに異なるが、オンライン BW では終盤の一部を除く全個体が 3 回表示されることにも注意が必要である。

## 3. 検証方法

アイデア創造における進化計算の効果を調査するため、アイデア進化およびオンライン BW で得られたアイデアの個体・家系得点率を比較する。アイデア創造のテーマは「毎日 1 度、他部署の社員とコミュニケーションする機会を作るには？」とし、アイデア進化およびオンライン BW で、各々 210 個のアイデアを取得した。有志での参加を募ったため、参加者はアイデア進化では 37 名、オンライン BW では 31 名と異なっている。なお、12 個の家系の初期アイデアは、アイデア進化とオンライン BW で同一のものを用いた。

アイデア進化およびオンライン BW によって得られたアイデアの質は、個体得点率によって評価される。ただし、質の評価対象となる個体は 2 回以上表示されたものに限定した。これは 1 回しか表示されていないアイデアの個体得点率は 0 または 1 であり、1 人の評価が結果に過剰な影響を与えることを回避するための措置である。なお、オンライン BW では前述の通り、概ね全ての個体が 3 回表示されるが、アイデア進化では 2 回表示されたにも関わらず 1 度も得点できなかった個体は、個体得点率が 0.5 未満となって選択対象から除外されるため、2 回しか表示されない個体が多数存在する。個体得点率の比較においては、この影響に注意を要する。

## 4. 検証結果

まず、アイデア進化およびオンライン BW によって得られたアイデアの概要を表 1 に示す。アイデアの総数は 210 個であるが、アイデア進化とオンライン BW のアルゴリズムの差異に起因して、アイデア進化では全アイデアの表示回数がオンライン BW よりも少ない。しかし、表示回数に対する得点数の割合(得点率)に有意差はなく(カイ二乗検定,  $p = .843$ )、参加者の違いによる検証結果への影響は無視できる。一方、表示回数が 2 回以上の個体の個体得点率の平均値(平均個体得点率)については、Wilcoxon の順位和検定の結果、アイデア進化が劣っていることがわかった( $p < .05$ )。この差はアルゴリズムの優劣ではなく、アルゴリズムによる評価方法の差異に起因している。詳細は割愛するが、オンライン BW では全てのアイデアが 3 回評価されるのに対し、アイデア進化では一部の良案が 4 回以上評価されることにより、得点率は同程度でも平均個体得点率が低下する。

表1 得られたアイデアの概要

	アイデア進化	オンラインBW
参加者	37	31
アイデア数	210	210
表示回数	545	558
得点数	221	223
得点率	0.400	≈ 0.406
平均個体得点率	0.331	< 0.397

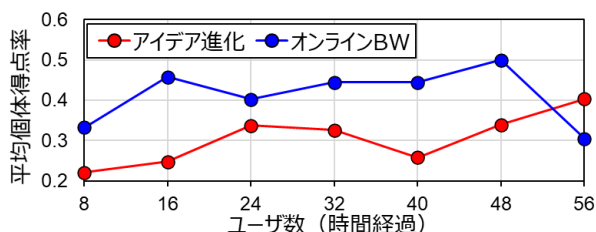
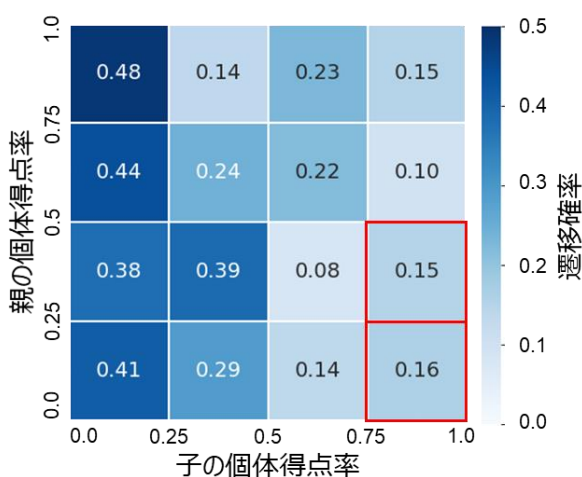
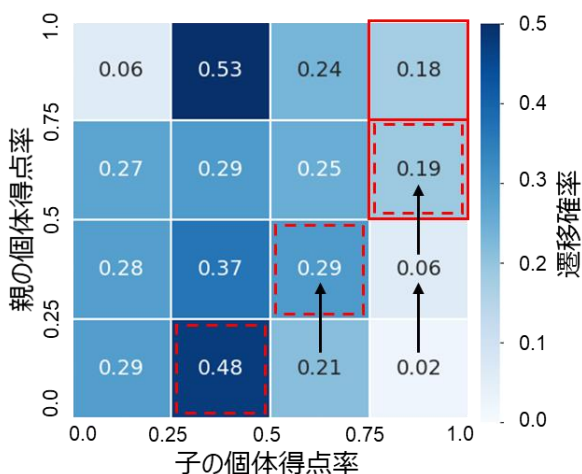


図3 平均個体得点率の変化



(a) アイデア進化



(b) オンラインBW

図4 個体得点率の遷移確率行列

次に、アイデア創造の時間経過に合わせて、ユーザ8人(アイデア24個)ごとに平均個体得点率を計算した結果を図3に示す。57人目(アイデア169個目)以降は、アイデア進化において多くの個体の表示回数が2回未満であるため比較から除外した。平均個体得点率はオンラインBWの方が全体的に高いが、これは前述の評価方法の差異によるものであり、本質的な差ではないため、ここでは平均個体得点率の変化に注目する。Wilcoxonの順位和検定による有意差はないものの、いずれのアルゴリズムもユーザ数が48人となるまでは、平均個体得点率は増加傾向であり、アイデア創造の時間経過に伴ってアイデアの質が改善していると考えられる。しかし、ユーザ数が56人となった際に、オンラインBWでは平均個体得点率が大きく低下している(Wilcoxonの順位和検定,  $p < .05$ )。オンラインBWでは、原案に最新の個体を表示するため、良案が提案されない状態が継続すると、過去の良案が表示されなくなり派生の蓄積が失われるため、このような質の急落を引き起こす可能性がある。一方、アイデア進化では進化計算の導入によって、良案が優先的に原案として表示されるため、安定してアイデアの質を改善できる。アイデア進化では、良案が提案されない状態が継続しても、過去の良案が表示されるため、ユーザは常に良案をヒントとした派生が可能である。

次に、アイデア進化で設定した仮説を確認する。図4に、親子関係を成すアイデアの個体得点率の遷移確率行列を親子それぞれ4水準に離散化して示す。遷移確率行列は、親の個体得点率の水準を条件とした、子の個体得点率の水準の条件付確率を並べたものであり、各行の和は1となる。図4(b)の赤破線枠は親子間で個体得点率の水準が一段階改善する確率に対応している。黒矢印で示すように、親の個体得点率が高くなるほど、各列の確率が高まっていくことから、オンラインBWでは仮説通り、「良案を原案とすると、さらなる良案が得られる確率が高まる」状態にあると言える。実際に、親の個体得点率が0.75以上の場合と0.25未満の場合で、子の個体得点率の平均値には有意差が認められた(Wilcoxonの順位和検定,  $p < .05$ )。また、図4(b)の赤枠で示すように、オンラインBWでは個体得点率0.75以上の子は、個体得点率0.5以上の親からの生成される確率が高く、段階的にアイデアの質を高めることで最終的な良案を得ていると判断できる。

一方、アイデア進化では図4(a)の赤枠で示すように、個体得点率の低い親からも個体得点率の高い子が高確

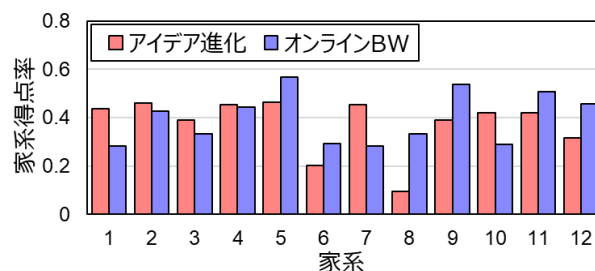


率で得られている。本研究では第  $n$  世代に表示された原案を親と定義しているが、アイデア進化では第  $n-2$ ,  $n-1$  世代に過去の良案が表示される確率が高い。ゆえに、ユーザが第  $n-2, n-1$  世代の優れた原案をヒントとして派生を行い、親にあたる第  $n$  世代の原案の個体得点率とは無関係に、子の個体得点率が高まったと考えられる。図3においてアイデア進化が安定してアイデアの質を高められるのも、この特徴によるものである。以上から、アイデア進化とオンライン BW の長所を組み合わせたアルゴリズムが考案できる。つまり、最新の2個体を第  $n, n-1$  世代に表示し、第  $n-2$  世代のみを進化計算で選択する方法である。これにより、段階的な質の向上を安定して実現できる。なお、アイデア進化において個体得点率 0.25 未満の個体が多数存在するのは、2回しか表示されない個体によるものである。

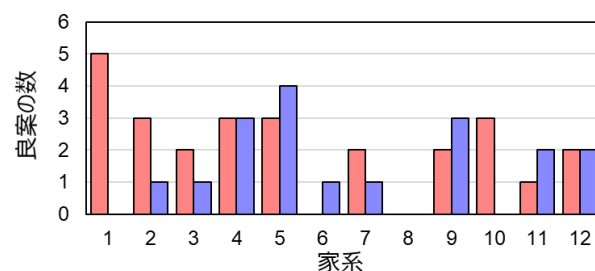
最後に、家系によるアイデアの質への影響を調査するため、図5を用いて各家系の家系得点率と個体得点率 0.75 以上の良案の数を比較する。アイデア進化とオンライン BW のいずれにおいても、家系 6, 8 では家系得点率が低く、良案もほとんど得られていない。このように家系から得られるアイデアの質は初期アイデアに依存することもあるため、アイデア進化における家系選択は、アイデアの質の安定化に有効であると言える。一方、家系 1, 10 ではアイデア進化のみが良案を多数獲得しており、初期アイデアとは無関係にアイデアが進化している。家系の質は時間経過とともに変化するため、アイデア進化による良案獲得の効率をさらに高めるには、家系得点率の計算において古い個体を除外するなどの処理が必要と考えられる。

## 5. 結言

本研究では、遠隔地での大規模アイデア創造を実現するため、BW と対話型進化計算を融合したアイデア進化を提案し、オンライン BW との比較によって、その特徴を明らかにした。アイデア進化では、進化計算に基づいて良案を優先的にヒントとして表示することで、アイデアの質の向上を安定化できることがわかった。一方、オンライン BW では、段階的にアイデアの質が向上しており、アイデア進化における仮説の妥当性を確認できた。今後は、アイデア進化アルゴリズムを改良し、多数のアイデア創造に適用することで、アイデアの質向上への有意性を確認する必要がある。



(a) 家系得点率



(b) 個体得点率 0.75 以上の良案の数

図5 家系によるアイデアの質への影響

## 参考文献

- [1] Baruah, J. and Paulus, P.B., (2016) "The role of time and category relatedness in electronic brainstorming," *Small Group Research*, Vol. 47, pp. 333-342.
- [2] 志村正道, (2009) "集合知と WEB," *武蔵工業大学環境情報学部紀要*, Vol. 10, pp. 32-39.
- [3] Tanaka, Y., Sakamoto, Y., and Kusumi, T., (2011) "Conceptual combination versus critical combination: devising creative solutions using the sequential application of crowds," *Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Boston, Massachusetts.
- [4] Chan, J., Dang, S., and Dow, S.P., (2016) "IdeaGens: enabling expert facilitation of crowd brainstorming," *Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing Companion*, pp. 13-16.
- [5] Wang, K., Nickerson, J.V., and Sakamoto, Y., (2013) "Crowdsourced idea generation: the effect of exposure to an original idea," *Proceedings of the 19th Americas Conference on Information Systems*, Chicago, Illinois.
- [6] Sakamoto, Y. and Bao, J., (2011) "Testing tournament selection in creative problem solving using crowds," *Proceedings of the 32nd International Conference on Information Systems*, Shanghai, China.
- [7] Rohrbach, B., (1969) "Creative by rules - Method 635, a new technique for solving problems," *Absatzwirtschaft*, Vol. 12, pp. 73-75 (in German).
- [8] Aiken, M. and Vanjani, M.B., (2003) "Comment distribution in electronic poolwriting and gallery writing meetings," *Communications of the IIMA*, Vol. 3, No. 2, pp. 17-36.
- [9] Takagi, H., (2001) "Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 9, pp. 1275-1296.
- [10] Han, J., Shi, F., Chen, L., and Childs, P.R.N., (2018) "A computational tool for creative idea generation based on analogical reasoning and ontology," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 32, No. 4, pp. 462-477.