

遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善

Improvement of Multi-user IEC for Creating Beverage on the Assumption of Taste-communication

福本 誠 (Makoto Fukumoto)¹ 花田良子 (Yoshiko Hanada)²

¹福岡工業大学 ²関西大学

対話型進化計算 (IEC : Interactive Evolutionary Computation) は、最適化手法である進化計算をもとに、個々のユーザの好みを反映したコンテンツ作成を支援する有力な探索ツールである。本研究では、コンピュータでの処理、情報伝達の難しさからIECで扱うことが困難な刺激である味覚に着目し、多くのユーザの感性に合う味コンテンツの創生を行う新たなIECシステムを提案する。ここでは、清涼飲料の味の創生を目標とし、遠隔地にいる複数のユーザによる同時探索手法と、味の調合情報を交換する「味コミュニケーション」を取り入れた飲料調合システムの開発を行う。さらに、被験者がペアで参加する味評価実験を行い、手法の基礎的な有効性を検証する。

1. 対話型進化計算による味コンテンツの探索とは

対話型進化計算 (IEC : Interactive Evolutionary Computation) は、最適化の近似解法の一つである進化計算において、評価関数の役割を人間のユーザが担うことにより、そのユーザの好みを反映したメディアコンテンツの作成を支援する有力な手法である[1],[2]。人間の感性はユーザ自身にも把握が難しく、表現も困難である。そのため、評価の部分を個々のユーザにゆだねることで、ユーザそれぞれの嗜好のバイアスにしたがった探索、すなわちブラックボックス的な特性を持つ関数に合う最適解を探索することが可能となる。

このような探索の特性と、ディスプレイ、スピーカなど一般的なコンピュータに備わっている入出力装置を評価のインタフェースにそのまま利用できることから、ユーザの視覚、聴覚に頼ったコンテンツ探索を行うIECが重点的に開発されてきた[3],[4],[5],[6],[7],[8]。また、近年では、特殊な装置を導入することにより、視聴覚メディアに限らず、触覚、嗅覚といった幅広いコンテンツの生成にIECの応用がなされている。

IECは元々1人のユーザが評価を行う手法であるが、個人に適したメディアコンテンツの生成だけでなく、複数のユーザが同一の設計目標のもとでIECの探索に参加することで、複数ユーザの好みに合うコンテンツの生成を行う手法が提案され、成果を上げている[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9]。その内容として、個々のユーザがIECのタスクを行う途中でユーザ間の良い解を交換す

る方法や、多くのユーザが評価プロセスに参加する方法があげられる。また、複数ユーザが参加するIECの多くは視覚的なコンテンツを対象とする手法[3],[4],[5],[7]であったが、聴覚[6],[8]や嗅覚[9]についても取組みがある。

本研究^{☆1}では、複数のユーザ参加型のIECによる味コンテンツの創生に着目する。ここで味覚コンテンツとは、食物や飲料のことをいい、IECによる味覚コンテンツ生成は、各ユーザの好みに合う食物や飲料を生成する手法とも説明できる。味覚を対象としたIECについては、これまでにコーヒーのブレンドをプロの参加者に評価してもらう手法が1997年にHerdyによって提案されている[10]。それ以来、筆者らがIECによる出汁[11]やジュースの混合[12]といった手法を提案するまで、新たな手法が提案されてこなかった。これは、ECやIECの知識を持ちながら、味覚を混合・提示するツールの開発を行う研究者が皆無であったことが一因と考えられる。任意の数値データに基づいて味コンテンツを作り出すデバイスがほとんど存在しないことも、理由の1つであろう。

本研究の目的は、IECによる飲料生成について、複数のユーザの好みに合う飲料の生成を目指す(図1)。本稿で紹介するシステムは、IECとしての先行研究で構築したジュースの混合システム[12]、および解交換を行う島モデルをもとにした複数ユーザによるジュース混合システム[13]に基づく。しかしながら、これまでの先行研究[12],[13]では、水流ポンプそのものの精度の悪さと制御の困難さから、飲料の混合の精度に問題があった。ここでは、これまで用いた混合装置におけるポンプと制御を改善することで、混合の精度を高めることを主目的とする。また、被験者がペアで参加する実験を行い、手法の有効性を検証する。先行研究でも2名の被験者が隣り合う形で実験に参加したが、本研究では将来的な味コミュニケーション、すなわち遠隔地のユーザが互いの良い飲料の情報をやりとりしながら探索を行う手法を念頭に、別々の部屋で実験に参加する。

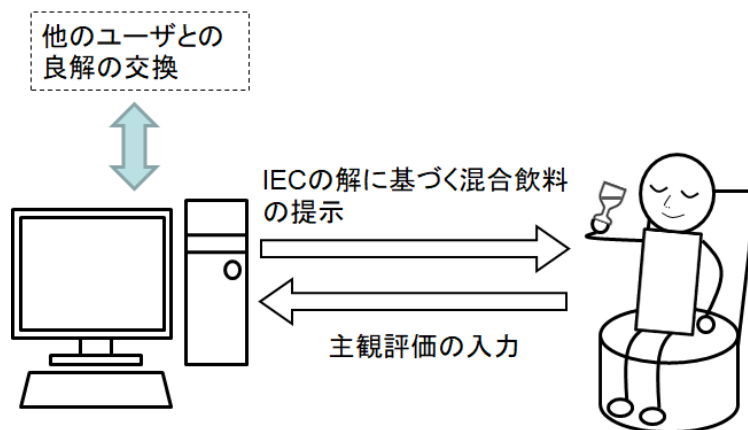


図1 複数ユーザによる飲料混合IECの概念図

2. 複数ユーザが参加するIECによる飲料混合手法とシステムの構築

2.1 対話型進化計算

図2に、一般的な進化計算のフローチャートを示す。探索アルゴリズムである進化計算が、数値計算に基づく評価関数により個体（解の候補）を評価するのに対し、IECでは人間のユーザが個体の評価を行う。そのため、IECではそのユーザに合う解を得られることが期待される。選択や操作（交叉、突然変異）といった通常の進化計算で行われる処理はIECにも含まれるが、人間が評価を行うことから集団に含まれる個体の数は少なく設定されることがほとんどである。なお、図2の下線で示す箇所は、複数ユーザが参加する味コミュニケーションの処理であり、1.3節で説明する。

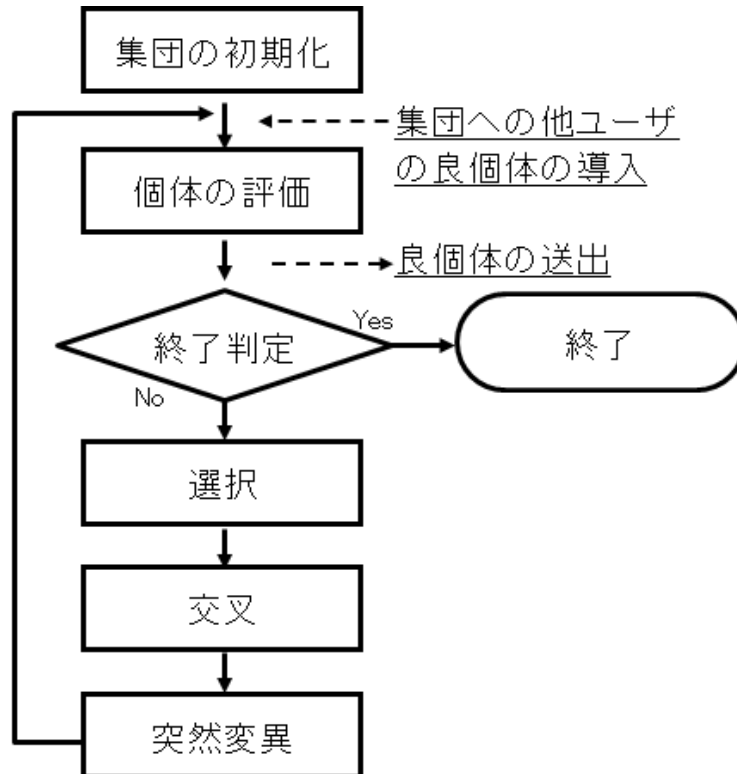


図2 IECのフローチャート。右上の下線を引いた箇所は、他ユーザとの良個体のやりとりを示す。

2.2 対話型進化計算による飲料混合手法

この手法は、IECの解候補を混合飲料とし、各ユーザに好まれる混合飲料を作る手法である。図2のフローチャートにあるように、ユーザが混合飲料の味を繰り返し評価することで、ユーザの好みに合う混合飲料を得られることが期待される。例として、混合するもとの原飲料3種類の混合比が1：2：3とすると、これらの比をそのまま解候補の数値情報とする手法があり得る。

図3は、IECによる飲料混合システムの概念図である。上述した比の考え方をポンプの駆動時間と結び付けることにより、解候補と対応する混合飲料の生成を実現している。このシステムは、ジュースを混合する先行研究[12],[13]で制作したものの欠点を改善したものであり、その欠点は混合飲料の調整にあった。図3中に破線で囲んだ箇所に示すように、ポンプの駆動により空気を密封した瓶に送り込む方式を用いていたが、瓶自体の密封性にも影響を受ける場合があり、送出する原飲料の量の信頼性に問題があった。また、原飲料の補充や、実験後のメンテナンス、チューブの消毒などの際も不便であった。

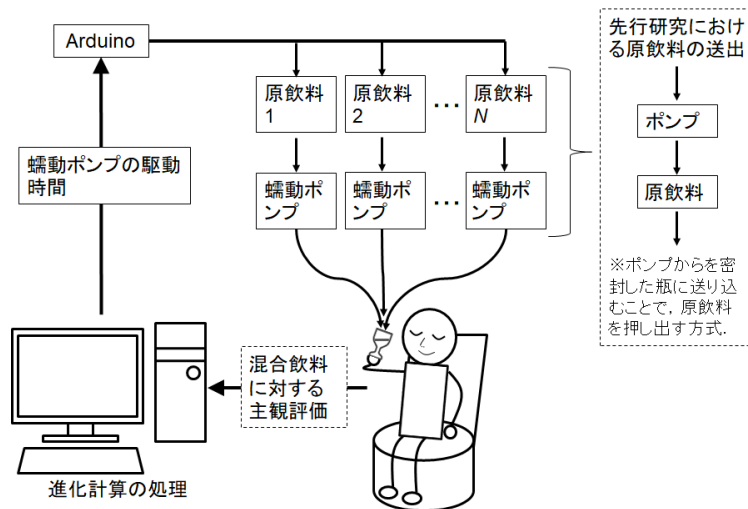


図3 1ユーザーを対象とする飲料混合IECのシステムの処理フロー

本研究では、駆動時間の比を用いる点は同じであるが、蠕動ポンプを用いることでこの問題を解決した。蠕動ポンプは、チューブなどの流路壁に外から変位を加えることで、内部の流体を輸送する装置である[14]。ポンプが駆動した分だけ押し出すような形で原飲料を吐出するため、密封された瓶を用いずとも飲料混合が実現可能である。また、蠕動ポンプの特性として逆流を防ぐ機能もあるため、高い精度の混合が可能となった。蠕動ポンプを用いることの問題点は、図3の処理フローから分かるように、電気系統の一部である蠕動ポンプが原飲料と混合飲料に挟まれる形になることである。そのため、飲料と電気系統が近づかないよう、チューブを長くとった上で、物理的な配置を工夫した。

2.3 対話型進化計算による複数ユーザーが参加する飲料混合手法

先行研究[13]において、島GAの考え方に基づき、複数ユーザーが参加して混合飲料探索を行う手法を提案した。これは、各ユーザーが個人による探索を行っている最中に、探索途中の良い解を交換し合うことで、共通して好む解を探索する狙いがある。この問題においては、共通して好む味覚コンテンツを探すこととなり、このようなコンテンツを得ることは食品開発やその補助につながる可能性がある。

本研究においては、改良した飲料混合IECのシステムを用いた実験を行う。精度の高い吐出量の調整が可能になったため、ポンプを駆動する時間を短くし、多くの原飲料を浪費せずに済むこととなった。また、将来的には、遠隔地にいる多くのユーザーが参加し、お勧めの味情報を交換する味コミュニケーションの形態を目指している。先行研究では2名のユーザーが隣り合って実験に参加する形式であったが、この将来的な展開を考慮し、今回は2名が別の部屋に分かれて実験に参加する形をとった。

2.4 改良した手法に基づくIECシステムの構築

複数ユーザーが参加する飲料混合IECの有効性の検証を目的とする実験を行う。ここでは、実験を実施するために構築したシステムについて説明する。

進化アルゴリズムには、最もポピュラーなアルゴリズムである遺伝的アルゴリズム（GA：Genetic Algorithm）を採用した。また、同時に実験に参加する人数は2名とした。混合のもととなる飲料には、4種類のジュース（オレンジ、アップル、グレープ、ピンクグレープフルーツ）とミネラルウォーターを用いた。そのため、GAの個体が持つ変数は5となる。この変数は整数であり、定義域は0から20とした。初期世代の解は、この範囲の乱数で作られた。5つの蠕動ポンプの総駆動時間を4000msとし、変数の比をもとに各ポンプを駆動することで、表現型である混合飲料を生成することとした。ポンプの吐出精度が向上したことから、先行研究[13]よりも総駆動時間、吐出量を減らし、評価にかかる時間、紙コップの廃棄にかかる時間を短くした。GAの計算結果をもとに蠕動ポンプを駆動する際には、オープンソースのマイコンボードであるArduinoを用いた（図3）。なお、これらの変数ができるだけ簡単な比となるよう、個体が作られた際に最大公約数が得られた場合はその値ですべての変数を割ることとした。

実験で用いたGAの設定は、先行研究と同じく、世代数7、個体数8、選択手法はルーレット選択とエリート戦略を併用した。交叉は一点交叉、突然変異により遺伝子の値が3の範囲で変動するものとした。解交換については、毎世代の終わりに世代中の最良個体をネットワーク接続して使用するファイルサーバNAS（Network Attached Storage）に保存し、奇数世代の終わりにもう一方のユーザの個体をもたらしてくることとした（図2）。すなわち、もってきた個体は、第2、4、6世代の集団の中に入ることにした。その際、自身の探索における世代中の最良個体は上書きされないものとした。

3. 実験方法

提案手法の有効性を調査するための飲料評価実験を実施した。この実験には、12名の被験者が参加した。実験は、探索実験と評価実験の2段階から構成され、探索実験は混合飲料の評価を繰り返す解探索であり、評価実験は探索後に得られた解が探索前の解より良いものであることを調べるための実験であった。

味覚に影響を及ぼす可能性があるため、1時間前から水以外の飲食は避けてもらった。個体ごとの独立性を確保するために、全ての混合飲料は紙コップに吐出してユーザに提示し、ユーザによる評価後にその紙コップは廃棄した。紙コップの利用は、衛生面の問題を防ぐ狙いもあった。

3.1 探索実験

2名ずつの被験者でペアになってもらい、同じ時刻から探索実験に参加してもらった。先行研究[13]では同じ実験室で隣り合う形で実験を実施したが、今回は異なる部屋で実験に参加してもらった。システムの動作確認や飲料の充填などの対応するために、それぞれの部屋に実験者がつく形で実験を行った。

各被験者は、IGA（対話型遺伝的アルゴリズム：Interactive Genetic Algorithm）の個体に相当する飲料を口に含み、そのおいしさの程度を7段階のSD法[15]により評価した。数値と形容詞の関係は、1は非常にまずい、4はどちらでもない、7は非常においしい、であった。飲み過ぎによる味覚の慣れを予防するために、飲料を評価する際には口に含むだけで飲まないよう被験者に教示した。実験中は、水を飲むなど、自由に休憩をとることを許可した。

3.2 評価実験

探索実験から1日以上を空けた後、被験者は1名ずつ評価実験に参加した。被験者自身が探索実験で評価した解候補のうち、初期世代と最終世代からそれぞれの最良解候補を抽出し、評価の対象とした。すなわち、被験者は探索の最初と最後の世代で作られた2つの解候補を再度評価した。

評価指標は、探索実験と同じく7段階のおいしさに関する評価であった。被験者は、2つの飲料が（いずれの世代から抽出されたかも含め）どのような飲料かが分からない状態で、必ず両方の飲料の味をみてから評価することとした。提示順は、順序効果を考慮し、ランダムでカウンタバランスをとった。

4. 実験結果

4.1 探索実験の結果

探索実験の結果として、評価値の推移を図4に示す。これらの値は、各被験者における世代中の平均評価値と最大評価値を算出した後に、それらの被験者間平均をとったものである。また、下線が付された世代は、もう一方の被験者からの良個体を評価した世代である。

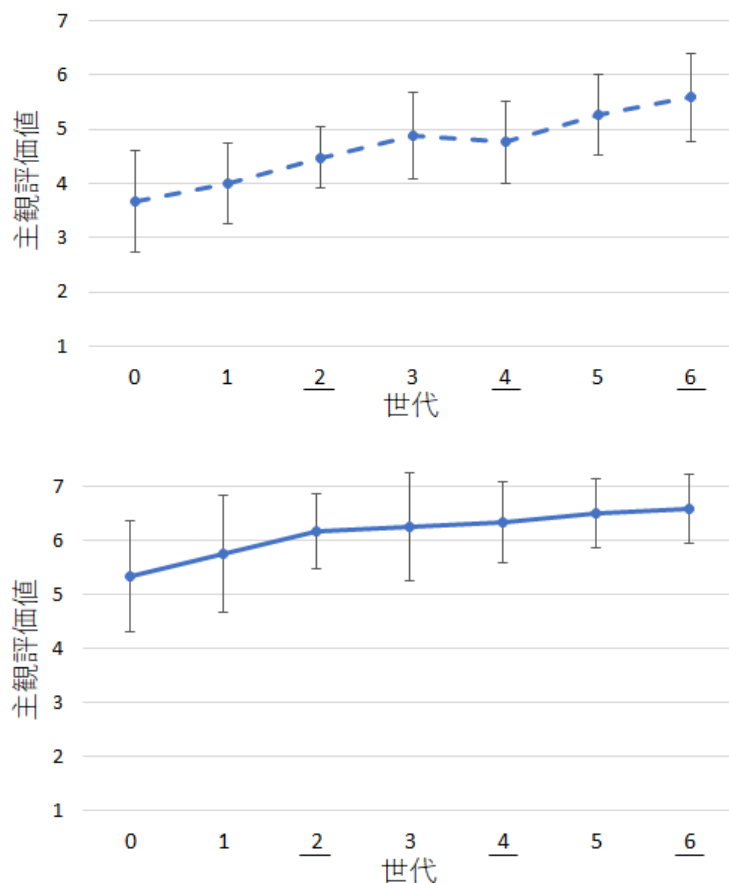


図4 探索実験における全被験者の評価値の推移（上：平均値，下：最大値）

グラフから分かるように全体的に上昇傾向にあり、特に平均評価値では、初期世代の平均値は4ポイント（どちらでもない）を下回ったものの、最終的には5ポイントを超える結果となった。初期世代と最終世代の間で統計解析による比較を行ったところ、平均値で有意な上昇が観察された ($P<0.01$)。最大値についても、有意な上昇が確認された ($P<0.01$)。

図5に、個体間の距離の推移を示す。これは、探索空間の収束の程度を、世代中で計算し得る2個体のユークリッド距離の総和から見たものである。個体数は8であるため、28組の距離の総和となる。グラフから、世代の更新に伴い、急激に距離が減少していることが分かる。また、ペアを組んだ相手から最良個体を集団に取り入れた第2、4、6世代では、やや距離の減少に鈍化が見られた。

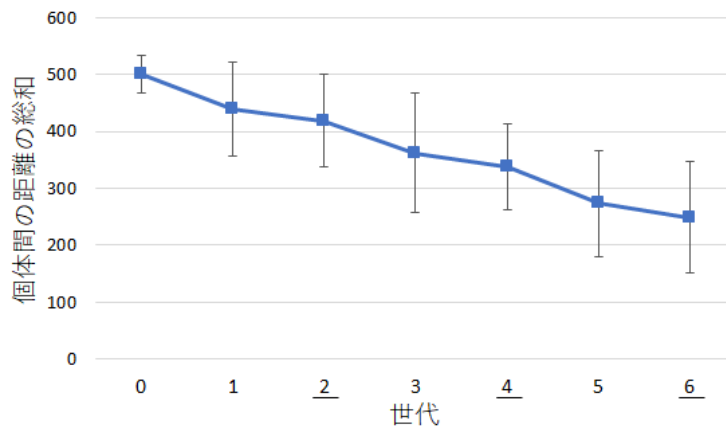


図5 探索実験における個体間の距離の推移

4.2 評価実験の結果

評価実験の結果を図6に示す。初期および最終世代のいずれにおいても平均値が5ポイントを超え、最終世代である第6世代にでは6ポイントを超える結果となった。それらの差はおおよそ1ポイントであり、統計的に有意な差が観察された ($P<0.05$)。標準偏差については、大きな差は観察されなかった。

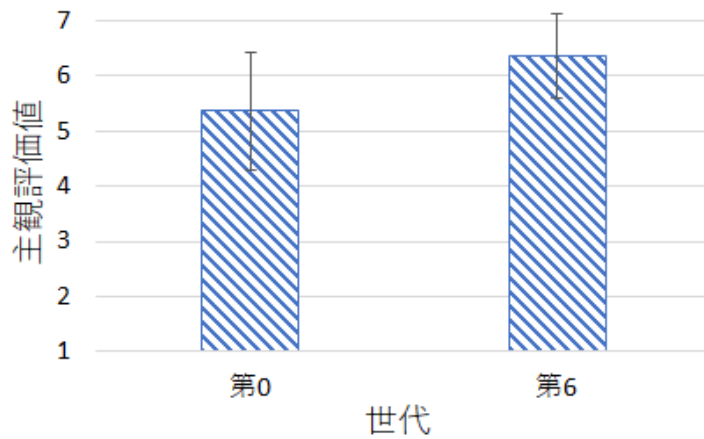


図6 評価実験における全被験者の評価値の推移

5. 考察

探索実験と評価実験の両方において、評価値の有意な上昇が観察された。これまで我々が行った味覚コンテンツの評価実験では、探索実験における評価値の上昇傾向は見られたものの、評価実験、すなわち被験者に分からない形で初期と最終の代表個体を比較した場合には統計的に有意な違いは観察されなかったことから、少なくとも個々のユーザの好む飲料を探し得る手法として、今回のシステムの改善は意義あるものとなった。ただし、手法の間での比較は行っておらず、特に単独で行うシステムとの違いについては、今後の比較実験が必要である。

今回のような2名で評価を行い、良解を交換する手法では、共通して好まれる解を探せることが期待される。単独の評価により音コンテンツを探索したIECの先行研究では、得られた音は探索したユーザ自身には高評価であるものの、ほかのユーザにとっては低評価であった[16]。味覚においても好みの多様性はあると予想されるため、共通して好まれる解が見つからないケースも十分にあり得る。次の段階として、より長い世代、評価回数による同様の実験を経て、ユーザ間で共通した好みの解が得られることについて検証を行う予定である。

ユーザ間で解を交換することの影響については、図5の探索空間の広さを観察することで言えることがある。大きな影響ではないものの、全体的な減少傾向の中で、ペアの相手の解を受け入れた世代でやや探索空間が広がる様子がうかがえる。これは、少ない個体数においてエリート戦略を用いたことで似たような個体が集団に広まり、急激に探索範囲が狭くなる中で、ペアの相手の個体が集団に飛び入り参加することで一時的に探索範囲が広がったことを示す結果と考えられる。本来は、この飛び入り参加した個体がどのように探索に貢献するかを評価値の面から観察すべきで、この点についても比較実験により明らかにしたい。

なお、今回の実験では、ペアの相手から受け取った個体がいずれであるかは被験者に伝えなかったが、この情報を探索に生かせる可能性がある。松本らは、ユーザ間の解交換を扱った先行研究[17]において、当該の個体がどれであるかを教えあうことにより、協調作業の効率が上がる可

能性を指摘した。本研究の目的から考えれば、このような観点から相手のお勧めの解の教示を行うことは不適切ではなく、また技術的に可能であるため、付加情報としての位置づけも検討したい。

6. 味コミュニケーションによる好まれる味覚コンテンツ生成の実現に向けて

本研究では、複数ユーザに共通して好まれる味覚コンテンツを生成する技術として、複数ユーザが参加して混合飲料を探索するIECのシステムの改良を行った。また、2名が参加するIECシステムを構築し、別々の部屋に分かれて探索を行う飲料評価実験を実施した。7世代分の探索実験を行った結果、探索実験において評価値の有意な上昇が観察された。また、評価実験においても初期世代に比べ、最終世代において有意な評価値の上昇が観察された。また、探索範囲については、世代の更新に伴う減少傾向が観察された。特に評価実験に関しては、我々の取り組みの中で初めての有意な上昇が観察された事例であり、本研究で行ったシステムの改善がユーザの好む飲料を探ることに貢献する可能性を示す結果であった。

今後の課題として、まず共通して好まれる混合飲料が作られていることを、より長い世代数の実験により確認する必要がある。その際、単独ユーザによる手法との比較実験を行うことで、良解の交換が探索に与える影響について検証することで、効果的な解交換の方法についても模索したい。将来的には、より多くのユーザが参加可能なシステムを構築するとともに、ネットワークを介して遠隔地からの味コミュニケーションを実現し、多くの評価を取り込むことで、商品開発やその補助につながる形へと発展させたい。

参考文献

- 1) Dawkins, R. : The Blind Watchmaker, Longman Scientific & Technical (1986).
- 2) Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation : Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, Proc. the IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275-1296 (2001).
- 3) Ogawa, Y., Miki, M., Hiroyasu, T. and Nagaya, Y. : A New Collaborative Design Method Based on Interactive Genetic Algorithms, Proc. the EUROGEN2001, pp.109-114 (2001).
- 4) Miki, M., Yamamoto, Y., Wake, S. and Hiroyasu, T. : Global Asynchronous Distributed Interactive Genetic Algorithm, Proc. IEEE Int. Conf. SMC2006, pp.3481-3485 (2006).
- 5) Takenouchi, H., Inoue, H., and Tokumaru, M. : Signboard Design System Through Social Voting Technique, Proc. ISIC2014, pp.14-19 (2014).
- 6) Fukumoto, M. and Hatanaka, T. : A Proposal for Distributed Interactive Genetic Algorithm for Composition of Musical Melody, IEE, Vol.3, No.2, pp.56-68 (2017).
- 7) 藤崎美夏, 竹之内宏, 徳丸正孝 : 複数ユーザの視線情報を用いた対話型進化計算システム, 日本知能情報ファジィ学会誌 知能と情報, Vol.30, No.4, pp.613-622 (2018).
- 8) Nomura, K. and Fukumoto, M. : Music Melodies Suited to Multiple Users' Feelings Composed by Asynchronous Distributed Interactive Genetic Algorithm, International Journal of Software Innovation, Vol.6, No.2, pp.26-36 (2018).
- 9) 福本 誠, 原 大海 : 進化計算を用いた複数ユーザに好まれる香りの探索—LANを介したシステムの構築—, 福岡工業大学研究所所報, pp.73-77 (2019).
- 10) Herdy, M. : Evolutionary Optimization Based on Subjective Selection - Evolving Blends of Coffee, Proc. 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, pp.640-644 (1997).
- 11) 野村康太, 原 大海, 福本 誠 : 対話型遺伝的アルゴリズムを用いたユーザ好みの出生生

成, 第48回あいまいと感性研究会ワークショップ 感性フォーラムひびきの2017, 2 pages (2017).

12) Fukumoto, M. and Hanada, Y. : A Proposal for Creation of Beverage Suited for User by Blending Juices based on Interactive Genetic Algorithm, Proc. IEEE Int. Conf. SMC2019, DOI : 10.1109/SMC.2019.8914494 (2019).

13) 福本 誠, 野村康太, 花田良子 : 複数ユーザに共通して好まれる混合飲料コンテンツ探索のための対話型進化, 電気学会システム研究会, ST-20-009 (2020)

14) 川橋正昭 : ぜん動ポンプの内部流動, ターボ機械, Vol.17, No.9, pp.583-587 (1989).

15) Osgood, C. E., Suci, G. K. and Tannenbaum, P. : The Measurement of Meaning, University of Illinois Press, USA (1957).

16) Fukumoto, M. : An Efficiency of Interactive Differential Evolution for Optimization of Warning Sound with Reflecting Individual Preference, Institute of Electrical Engineers of Japan, Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Vol.10, No.S1, pp.S77-S82 (2015).

17) 松本涼平, 上村桃子, 大西 圭, 渡邊真也 : 二人ゲーム形式の進化的協調最適化, 第12回進化計算研究会, P1-12 (2017).

脚注

☆1 本研究は, 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 19K12196の助成により実施した. ここに謝意を表す

福本 誠 (正会員) fukumoto@fit.ac.jp

福岡工業大学情報工学部情報工学科 教授. ユーザの感性に合うメディアコンテンツ生成の研究に従事. 博士 (工学) .

花田良子 (正会員) hanada@kansai-u.ac.jp

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科 准教授. 組合せ最適化・進化計算の基礎, 応用に従事. 博士 (工学) .

採録決定 : 2021年1月21日

編集担当 : 細野 繁 (東京工科大学)