

Interactive Genetic Algorithm using Initial Individuals Generated from Human Sensitivity

Noriko OKADA* Mitsunori MIKI** Tomoyuki HIROYASU*** and Masato YOSHIMI**

(Received January 17, 2011)

In this paper, we propose new methods to generate initial individuals which reflects human's sensitivity in Interactive Genetic Algorithm (IGA). Specifically, we propose the initial individuals generation method based on color harmony theories. IGA is an optimization method based on Genetic Algorithms (GA) which simulates the evolution of living things, where the evaluation part of the GA is handled subjectively by a user. Color harmony theory are the principles used to create harmonious color combinations. In the proposed methods, by including user's favorite individuals in an initial population, we aim at to increase efficiency of searching solution and reducing user's loads. We constructed a system which designs a color combination of individual workspace and experimented to verify the validity of the proposal methods. The experiment showed that a design with a user's high level of satisfaction is generable in the system using the proposal methods. In addition, we figured out that the proposed methods are effective, and found out that it was useful in reducing the psychological fatigue of the users.

Key words : optimization, interactive evolutionary method, Interactive Genetic Algorithm, color combination

キーワード : 最適化, 対話型進化計算法, 対話型遺伝的アルゴリズム, 色の組み合わせ

ユーザの感性に基づく初期個体を生成する 対話型遺伝的アルゴリズム

岡田典子・三木光範・廣安知之・吉見真聡

1. はじめに

近年, 製品の設計やデザインにおいて, 工学的尺度に加えて審美性などの付加価値を高める感性的尺度の重要性が高まっている¹⁾. 設計やデザインはモノを

つくる際に必ず必要な作業であり, 工学にとって重要な課題であるが, 専門的な知識や経験を持たない人が, デザインや設計を行うことは容易ではない. そのため, 設計やデザインの自動化や支援が必要となる²⁾. し

* Graduate Student, Department of Intelligent Information Engineering and Sciences, Doshisha University, Kyoto
Telephone:+81-774-65-6924, E-mail:nokada@mikilab.doshisha.ac.jp

** Department of Intelligent Information Engineering and Sciences, Doshisha University, Kyoto
Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6796, E-mail:{mmiki, myoshimi}@mail.doshisha.ac.jp

*** Department of Biomedical Information, Doshisha University, Kyoto
Telephone:+81-774-65-6932, Fax:+81-774-65-6019, E-mail:tomo@is.doshisha.ac.jp

かし、人間の感性や好みは個人によって尺度が異なるあいまいなものであるため、定量化やモデル化が困難である。そこで、最適化系に人間そのものを組み込み、人間の評価に基づきコンピュータに最適化させる手法として、対話型遺伝的アルゴリズム (Interactive Genetic Algorithm: IGA) ³⁾ が注目されている。

IGA は、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) ⁴⁾ による探索をベースとし、人間が持つ好みや印象などの感性を評価関数として求める解を導き出す手法である。IGA では解探索に人間の関与が必須であるため、個体数や探索世代数を制限することによりユーザの疲労を考慮する必要がある。しかし、個体数や探索世代数を制限は早熟収束という問題につながる。

一般的な IGA では設計変数空間全域からランダムに初期個体を生成する。しかし、IGA では最終的に生成される個体が初期個体に依存する傾向があるため、ユーザの嗜好に合わない個体が初期個体群に多く含まれている場合には、ユーザが本来求める解に収束せず、局所解に陥りやすいという問題もある。さらに、ランダムな初期個体生成により嗜好に合わない個体が多く提示されると、評価を行う際にユーザに心理的負担を与えることも考えられる。

そこで、本研究では IGA の解探索におけるユーザの疲労を軽減することを目的とし、IGA における初期個体生成方法に着目する。本研究では、配色問題を対象とし、色彩調和論を用いて初期個体を生成する手法を提案する。色彩調和論を用い、ユーザの嗜好に合う個体を初期個体群に含めることにより、解探索の際のユーザの評価回数を減らし、疲労軽減の効果が期待できる。

2. 対話型遺伝的アルゴリズム

2.1 対話型遺伝的アルゴリズムの概要

IGA とは、生物の進化をモデルとした最適化手法である GA における遺伝的操作をベースとし、評価部分に人間の主観に基づいた評価を用いることで、解探索を行う手法である。人間による主観的評価を用いて解探索を行うため、IGA は人間の感性をシステムに組み

込む技術といえる ⁵⁾。そのため、従来の GA と比べて人の感性を取り扱うことに適しているといわれている。このようなことから、IGA は定量的な評価が困難なデザイン、音楽、およびエンターテインメントなどの様々な分野で広く適用されている ^{6, 7, 8)}。本研究では、ユーザの好みを読み取り、潜在的な嗜好を顕在化させることを目的とし、IGA を適用する。IGA システムの概念図を Fig. 1 に示す。また、IGA における基本動作のフローチャートを Fig. 2 に示す。

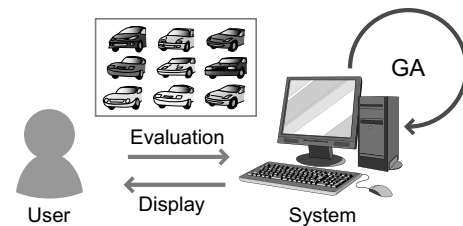


Fig. 1. IGA system.

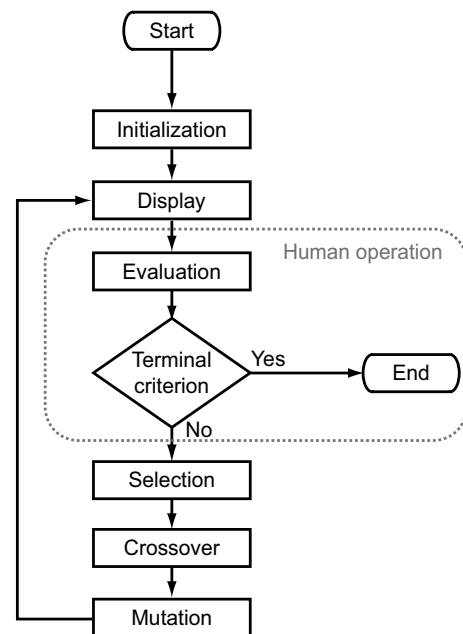


Fig. 2. Flow chart of IGA.

2.2 対話型遺伝的アルゴリズムにおける課題

通常の IGA における解の探索空間は、設計空間全域である。設計空間が広く複雑な場合、最適解に収束するためには多くの探索世代数と個体が必要になる。しかし、IGA ではこの両者を多くすると個体を評価するユーザに大きな疲労を与えてしまう。ユーザの疲

労を軽減するためは両者を少なくしなければならないが、これは早熟収束につながる。

また、一般的な IGA ではランダムに初期個体が生成されるため、初期探索領域は設計変数空間全域である一方、提示画面領域の限界により提示個体数は制限を受ける。そのため、初期個体群にユーザの嗜好に合う個体が含まれない可能性がある。IGA では最適解が初期個体に依存する傾向があり、ユーザの嗜好に合うものが初期個体群に含まれない場合には探索世代数が増加してしまう。IGA では提示される全ての個体に対してユーザが評価を行う必要があるため、探索世代数の増加にともないユーザに対する負担も増加する。通常人間が評価できる世代数は 10 から 20 世代程度といわれており、人間が評価できる回数にも限りがある。そのため、限られた提示個体数で効率よく探索を行う必要がある。

そこで、初期個体にあらかじめユーザの嗜好に合う個体を含めることで探索空間を狭め、解探索の効率化を図ることを考える。初期個体に嗜好性の高い個体を含める方法として、本研究では色彩調和論を用いる。

3. 色彩調和論を用いた初期個体生成

3.1 色彩調和論

3.1.1 色彩調和論の概要

色彩調和論とは、2 色以上からなる色の組み合わせに対して人間が感じる快・不快、美しい・醜い等の色彩調和における調和・不調和の規則、あるいは法則性について研究し、体系づけたものである⁹⁾。ヨーロッパでは、歴史的に継承されてきた色彩調和論に基づいて、ドミナントカラー配色やトリコロールなどの様々な配色が行われ、現在でもインテリアや服飾など多くのデザイン分野で活用され、定着している。色彩調和論は、マンセル表色系や PCCS(Practical Color Co-ordinate System) 表色系¹⁰⁾ などのいずれかの色彩体系に基づいて考えられており、各色彩体系ごとに調和・不調和の色同士の相互関係が指定されている。本研究では、配色調和を考えるのに適した PCCS 表色系を用いて表される色彩調和論を用いる。

3.1.2 PCCS 表色系

PCCS 表色系は、日本色彩研究所が色彩調和の問題をシステムティックに解決することを主な目的として開発し、1964 年に発表したカラーシステムである。多目的な実用性があり、配色調和色の選定を行いやすいため、色彩計画、色彩調査の集計、および色彩教育などの広い範囲で様々な用途に用いられている¹⁰⁾。PCCS 表色系では、HSB 表色系と同様に、色の表現に色相、彩度、および明度の 3 属性を用いるが、さらに色相とトーン (tone) という 2 つの要素から色を分類する点が最大の特徴である。PCCS のトーンとは、Fig. 3 に示すように彩度および明度の複合概念であり、明るい、濃い、鈍いといった色の調子を表すものである。PCCS の色相では、心理四原色である赤、黄、緑、および青を主要色相としている。PCCS の色相環では、これら 4 色に対してその心理補色を対向位置に定め、さらに色相間隔が等しくなるように 4 色を加えた 12 色相に区分し、色相を分割して 24 色相になっている。PCCS の色相環を Fig. 4 に示す。

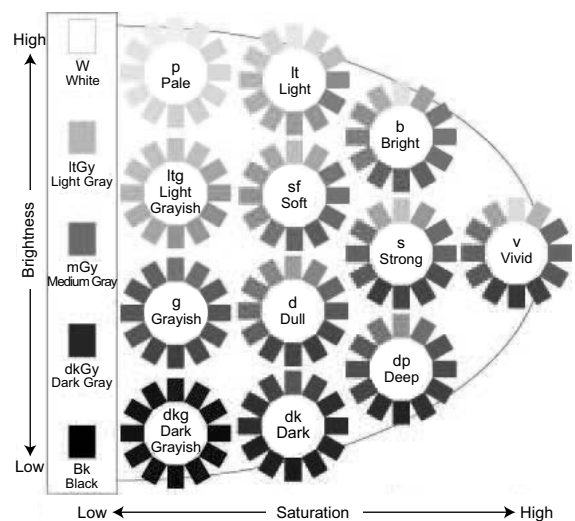


Fig. 3. Tone of PCCS.

3.2 配色技法に関する検討

色彩調和論における配色技法は様々な存在する。そこで、どの配色技法が IGA の初期個体生成に用いるのにふさわしいかを検討するため、20 歳代の男女 20 名を被験者として予備実験を行った。実験では、被験者に好きな色を 1 色作成してもらった後、その色をもと

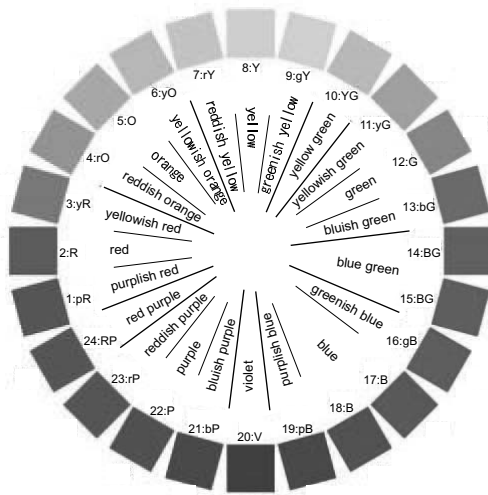


Fig. 4. Hue circle of PCCS.

に様々な配色技法を適用して作成した3色配色を見せ、各配色の好悪について回答してもらった。実験の際に適用した配色技法は、トーン・オン・トーン配色、トーン・イン・トーン配色、フォカマイユ配色、スプリット・コンプリメンタリー配色、トライアド配色、グラデーション配色、ナチュラルハーモニー配色、およびコンプレックスハーモニー配色の計8種である¹⁰⁾。これらは、配色技法の中でも基本的で様々な分野で用いられている代表的な配色、および民族衣装などの伝統的・習慣的に用いられている配色のうち、類似したものを省いたものとなっている。なお、実験における配色技法の適用順はランダムとした。

実験の結果、トーン・オン・トーン配色、フォカマイユ配色、グラデーション配色、およびナチュラルハーモニー配色は、「嫌いな配色」と回答した被験者が全体の3分の1以下であり、比較的好まれる傾向にあることがわかった。一方、トーン・イン・トーン配色、スプリット・コンプリメンタリー配色、トライアド配色、およびコンプレックスハーモニー配色は好まれない傾向にあることがわかった。これらのことから、本研究では好まれる傾向にあった4種の配色技法を色彩調和理論に基づく初期個体生成方法に適用する。適用する各配色技法について以下に説明し、その配色例をFig. 5に示す。

- トーン・オン・トーン配色
同一色相でトーンの明度差を比較的大きくとした

配色である。

- フォカマイユ配色
色相、およびトーンにやや変化をつけた色の組み合わせによる配色である。
- グラデーション配色
色彩の階調のある配列により視覚的効果を与える3色以上の配色である。グラデーション配色には、色の属性に応じて色相のグラデーション、明度のグラデーション、彩度のグラデーション、およびトーンのグラデーションの4通りがある。
- ナチュラルハーモニー配色
配色を構成する色のうち、色相環における黄に近い色相の色を比較的明るくし、反対に青紫に近い色相の色を相対的に暗くした配色である。

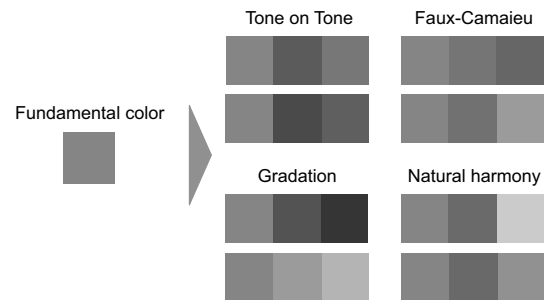


Fig. 5. Example of color combination.

3.3 色彩調和論に基づく初期個体生成

3.2節で述べた予備実験の結果より、本提案手法では配色技法としてトーン・オン・トーン配色、フォカマイユ配色、グラデーション配色、およびナチュラルハーモニー配色の4種を用いる。提案手法では、まずユーザがシステムを用いて好きな色を1色自由に作成する。システムは、ユーザにより作成された色をもとに上記4種類の配色技法を適用し、ユーザ作成色を含む3色配色を作成する。そして、配色の各色を初期個体のパーティション、デスク、およびノートパソコンの色に用いる。その際、3色のうちどの色が割り当てられるかはランダムに決定する。また、配色作成の際に適用される配色技法に関してもシステムが一様ランダムに決定する。配色技法を用いた色彩調和論に基づく初期個体生成方法をFig. 6に示す。

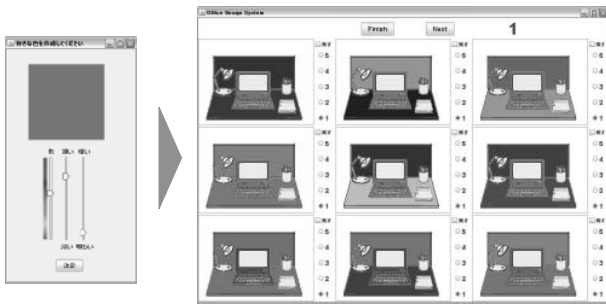


Fig. 6. Method of generating initial individuals based on color the harmony theory.

4. 提案手法の評価実験のためのシステム構築

4.1 デザインの表現方法

提案手法の有効性を検証するためのシステムとして、オフィスにおける個人の執務空間の配色デザインを行うオフィス空間デザインシステムを構築した。構築したシステムのデザインの表現方法について以下に示す。

- 構成要素

パーティション、デスク、およびノートパソコンの3つのアイテムでデザインを構成する。この3つのアイテムの色を変更することにより、個人の執務空間を表現する。

- 色の表現方法

本システムの色の表現方法には、HSB表色系¹⁰⁾を用いる。HSB表色系は、人間の感性に似た色の表現方法であり、色相(Hue)、彩度(Saturation)、および明度(Brightness)の3成分により色を表現する。色相とは、赤、青、および緑などの色の種類のことであり、赤、黄、緑、青、および紫の5色相を円周上に等間隔に並べた色相環で表すことができる。色相環で表されることにより、青と黄の中間色は緑といった人間の色彩感覚に似た表現が可能となる。彩度とは色の鮮やかさを表す度合いのことであり、彩度が高いほど鮮やかな色に、低いほど濁った色となる。明度とは色の明暗を表す度合いのことであり、明度が高いほど明るくはっきりした色合いになり、低いほど暗くなり色合いがわかりにくくなる。なお、色相は0から360の範囲、彩度および明度は0から100の範囲で値を

とる。

- 染色体構造

1つの染色体で1つのデザインを表現する。染色体の各遺伝子には、各アイテムの色のHSB値の数値情報を格納する。なお、提案システムにおいて、HSB表色系における彩度および明度の値は正規化し、0.0から1.0の実数値を用いた。

4.2 オフィスデザインのためのアルゴリズム

1. 初期個体の生成および提示

3.3節で述べた生成方法に基づいて初期個体を生成する。まず、システムは色を作成するための画面をユーザに提示する。ユーザは提示画面において、自身の好きな色を一色作成する。その後、システムはユーザが作成した色に配色技法を適用し、3色配色を作成する。そして、作成した配色に用いられている各色をパーティション、デスク、およびノートパソコンの色に適用して、ユーザに初期個体として提示する。なお、本システムにおける1世代あたりの個体数は、画面上に提示できる個体数に限界があるため9とした。

2. 評価

ユーザは提示された個体1つ1つに対し、主観に基づいて1から5点の5段階で評価を行う。ここでは、5点が最高点とした。また、各世代で提示される9個のデザインのうち、特に気に入ったものはベストデザインとして選択する。これは、次項で説明するエリート保存戦略におけるエリート個体である。

3. 選択

ユーザが行った評価をもとにルーレット選択、およびエリート保存戦略を行う。ルーレット選択とは、評価値に比例した割合で個体を選択する手法である。ルーレット選択を用いた理由は、人間が与えた評価値を個体の選択に反映しやすいためである。また、ルーレット選択を用いることにより、評価値の低い個体が選ばれる可能性を残すことができ、個体群の多様性を維持し、局所的な最適解

に陥るのを防ぐことができる。エリート保存戦略とは、評価値の高い個体をそのまま無条件に次世代に残す手法である。この手法によって、評価値の高い個体が遺伝的操作によって死滅することを防ぐことができる。

4. 交叉

本システムでは設計変数値が実数値であるため、実数値 GA に特化した交叉オペレータを用いる必要がある。そこで、本システムでは代表的な手法であるブレンド交叉 (BLX- α)¹¹⁾ を用いた。BLX- α は、2つの親個体の差 d_i を α 倍正負に伸ばした範囲に、子個体を生成する手法である。BLX- α を用いることにより、親個体に似た子個体を生成できる。BLX- α による色相の交叉の例を図 7 に、彩度および明度の交叉の例を図 8 に示す。

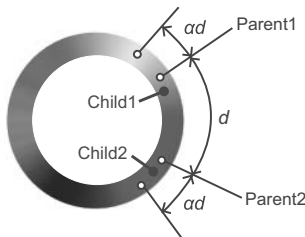


Fig. 7. Crossover for hue.

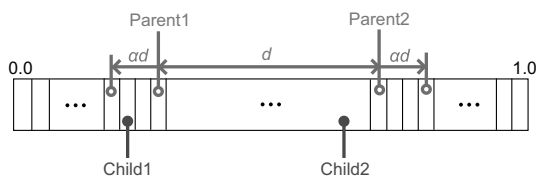


Fig. 8. Crossover for saturation and brightness.

5. 突然変異

それぞれの設計変数において、突然変異率に基づきランダムに設計変数値を変化させる。本システムでは、設計変数の数を N_V とすると、全ての変数に対し $\frac{1}{N_V}$ の確率で突然変異を行う。突然変異により、親個体の遺伝子だけでは生成されない子個体が生成される。

6. 終了判定

終了世代はユーザの任意とする。ユーザが求めるデザインが提示されたと判断した時点で解探索を終了する。

5. 色彩調和論に基づく初期個体生成の有効性の検証

5.1 実験概要

色彩調和論に基づく初期個体生成方法が、IGAにおけるユーザの負担軽減に有効であるかを検証するため実験を行った。実験では、初期個体生成方法の異なる2つのシステムを用いて比較を行った。なお、本実験における被験者は20歳代の男女20名であり、システムの使用順序は被験者間で異なる順序とした。実験では「働いてみたいオフィスの配色をデザインする」というコンセプトを被験者に伝え、各システムを用いてデザインを行ってもらった。また、実験終了後にはアンケートを実施した。

実験で用いたシステムは以下の2つである。2つのシステムの違いは初期個体生成方法のみであり、その他の選択、交叉、および突然変異の遺伝的操作やパラメータは同じである。システムのパラメータを Table 1 に示す。

- カラーハーモニーシステム

色彩調和論に基づいて初期個体生成を行うシステムである。ユーザは、自身の好きな色を1色自由に作成する。その後、システムがユーザに作成された色に配色技法を適用して作成した3色配色を用いて9個の初期個体を生成する。

- ランダムシステム

一般的にIGAでは、ランダムに初期個体を生成する。そのため、本実験では比較システムとして初期個体をランダムに生成するシステムを用いる。ただし、9個体という少ない初期個体群の中からユーザの嗜好に合う良い個体を生成するのは容易でないと考え、本システムでは全個体(9個体)を複数回初期化できる機能を設け、ユーザの嗜好

に適合する初期個体群からデザインを開始できるようにした。

Table 1. Parameter.

Number of individuals	9
Number of design variables	9
Number of search generations	Arbitrary
Crossover rate	$\frac{N_P - N_E}{N_P}$
Mutation rate	$\frac{1}{N_V}$

N_P :Number of individuals
 N_E :Number of elite individuals
 N_V :Number of design variables

本実験でアンケートにより検討する項目は以下の通りである。

- 項目 1 システムを用いて作成したデザインにどのくらい満足しているか
- 項目 2 初期画面において好みのデザインは多く提示していたか
- 項目 3 システムを用いてデザインを行うのはどのくらい楽しかったか

アンケート項目 1 の回答項目は「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」の 5 段階であり、アンケート項目 2 の回答項目は「提示していた」、「どちらかといえば提示していた」、「どちらでもない」、「どちらかといえば提示していなかった」、「提示していなかった」の 5 段階である。また、アンケート項目 3 の回答項目は「楽しかった」、「どちらかといえば楽しかった」、「どちらでもない」、「どちらかといえば楽しくなかった」、「楽しくなかった」の 5 段階である。これらのアンケート項目の結果をもとに、色彩調和論を IGA の初期個体生成に適用することが、ユーザの嗜好に合う初期個体の生成に有効であるか、また、ユーザの負担軽減に有効であるかについて検討を行う。

5.2 実験結果および考察

アンケート項目 1 から 3 の結果をそれぞれ Fig. 9 から Fig. 11 に示す。また、アンケート項目 1 におい

ては「満足」もしくは「やや満足」と回答した被験者数と「不満」もしくは「やや不満」と回答した被験者数、アンケート項目 2 においては「提示していた」もしくは「どちらかといえば提示していた」と回答した被験者数と「提示していなかった」もしくは「どちらかといえば提示していなかった」と回答した被験者数、アンケート項目 3 においては「楽しかった」もしくは「どちらかといえば楽しかった」と回答した被験者数と「楽しくなかった」もしくは「どちらかといえば楽しくなかった」と回答した被験者数を用いて、有意水準 5% で符号検定を行った。符号検定の結果を Table 2 に示す。

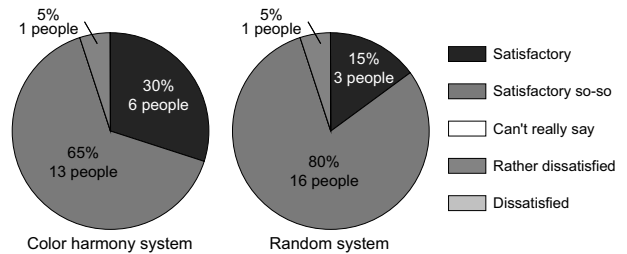


Fig. 9. Result of satisfactory level for the proposed system.

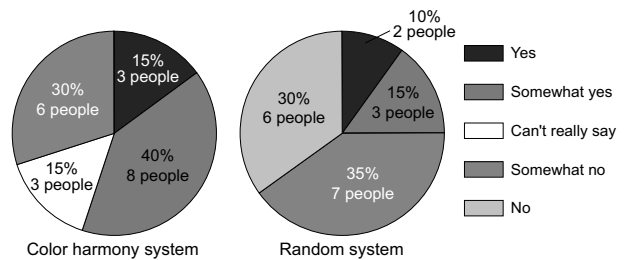


Fig. 10. Result on the indicated of many preferred individuals in the initial generation.

Fig. 9 のアンケート項目 1 において、両システムで 95% (19 名) の被験者が「満足」もしくは「やや満足」と回答した。符号検定を行った結果、両システムにおいて、「満足」もしくは「やや満足」と回答した被験者数と「やや不満」もしくは「不満」と回答した被験者数の間には有意な差があった。このことから、初期個体生成の方法にかかわらずユーザは満足度の高いデザ

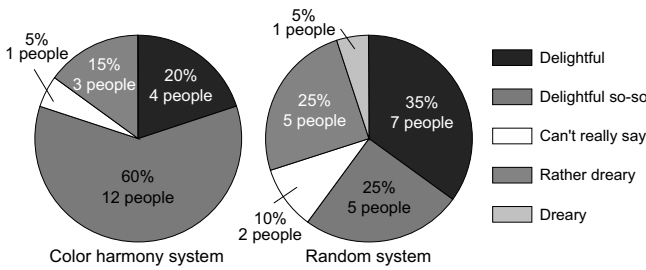


Fig. 11. Result on the pleasantness of the design process in the proposed system.

Table 2. Result of sign test.

Evaluation item		Significance probability
Item 1	Color harmony system	1.90×10^{-5}
	Random system	9.53×10^{-7}
Item 2	Color harmony system	9.44×10^{-2}
Item 3	Color harmony system	1.84×10^{-3}
	Random system	7.08×10^{-2}

インを作成できたといえる。

Fig. 10 のアンケート項目 2 において、ランダムシステムに対し、カラーハーモニーシステムの方が初期個体にユーザの嗜好に合う個体が多く提示されていたことがわかる。しかし、符号検定を行った結果、カラーハーモニーシステムにおいて「提示していた」もしくは「どちらかといえば提示していた」と回答した被験者数と「どちらかといえば提示していなかった」もしくは「提示していなかった」と回答した被験者数の間には有意な差が見られなかった。この要因として、実験で被験者に対して「好きな色を一色作成してください」と伝えて色を作成してもらったことが考えられる。一言で「好きな色」といってもその定義はあいまいであり、服飾に用いたい好きな色と執務空間に用いたい好きな色が異なるなど、同じ人であっても対象とするものにより好きな色や用いたい色は異なると考えられる。カラーハーモニーシステムでは、用いている配色技法の都合上、同一、もしくは類似の色彩やトーンを組み合わせた配色が高確率で生成される。すなわち、

ユーザがシステムで最初に生成した自身の好きな色に対して、その色と色相、およびトーンの近い色を多用したデザインが初期個体として多く提示される。そのため、好きな色として作成した色と、本実験におけるデザインのコンセプトである執務空間に用いたいと考える色が異なるユーザにとっては、嗜好に合う初期個体があまり提示されなかったのではないかと考えられる。以上のことから、提案手法では「好きな色」でなく「デザインの対象となるものに用いたい色」を最初にユーザに作成してもらうことにより、初期個体にユーザの嗜好に合う個体を多く提示することにおいてさらに有用になると考えられる。

Fig. 11 のアンケート項目 3 において、カラーハーモニーシステムでは 80% (16 名)、ランダムシステムでは 60% (12 名) の被験者が「楽しかった」もしくは「どちらかといえば楽しかった」と回答した。符号検定を行った結果、カラーハーモニーシステムでは有意差が見られたが、ランダムシステムでは有意差が見られなかった。また、インタビュー調査より「カラーハーモニーシステムでは、色を作成するのが楽しかった」などの意見を被験者から得た。これらのことから、カラーハーモニーシステムでは被験者は楽しんでデザインを行えていることがわかる。

本実験における各被験者の探索世代数を Fig. 12 に示す。

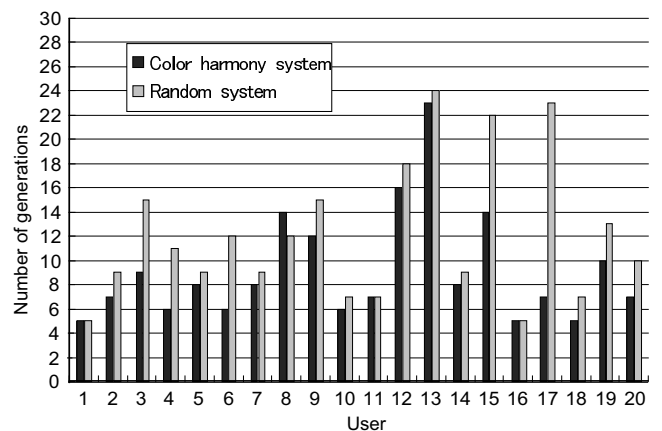


Fig. 12. Number of search generations.

全被験者の平均探索世代数は、カラーハーモニーシ

システムでは9.15世代、ランダムシステムでは12.1世代であり、カラーハーモニーシステムの方が少なくなった。また、その標準偏差はカラーハーモニーシステムでは4.46、ランダムシステムでは5.63であり、カラーハーモニーシステムの方が小さくなった。これらのことから、カラーハーモニーシステムはランダムシステムに比べ、比較的少なく安定した探索世代数でデザインを生成できると考えられる。

以上のことから、IGAの初期個体生成を色彩調和論に基づき行うカラーハーモニーシステムでは、ユーザの嗜好性が高いデザインを行え、さらにデザインをユーザが楽しんで行うことができていることから、ユーザの心理負担を軽減できたといえる。また、ランダムシステムと比較して、少ない探索世代数でデザインを行えていることから、初期個体生成に色彩調和論を適用することにより、解探索の効率化が図れ、ユーザの負担の軽減に有効であったと考えられる。

6. まとめ

本研究では、IGAの解探索におけるユーザの負担軽減を目的とし、ユーザの感性を反映させ、嗜好に合う初期個体を生成するための手法を提案した。ユーザの思考に合う初期個体を生成することにより、評価の際にユーザに与える心理的負担を和らげ、かつ満足度の高い解を生成することを図った。具体的には、その手法として配色調和論に基づく初期個体生成方法を提案した。提案手法では、ユーザが自由に作成した一色をもとに配色技法を適用し、作成された配色を用いて初期個体を生成する。

また、提案手法の有効性を検証するため、個人の執務空間の配色デザインを行うオフィス空間デザインシステムを構築した。検証実験の結果、提案手法ではユーザは満足度の高いデザインを生成できることがわかった。また、ランダムに初期個体を生成する場合と比較して、少ない探索世代数でデザインを作成でき、かつ楽しんでデザインを行うことができたことから、提案手法はIGAにおけるユーザの負担軽減に有効であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 日本機械学会, HCDハンドブックー人間中心設計ー, (丸善株式会社, 東京, 2006), p.22-56.
- 2) 小林重信, 進化計算に基づく創発的設計論, 精密工学会誌, Vol.64, No.10, p.1419-1422, (1998).
- 3) 高木英行, 畝見達夫, 寺尾隆雄, 対話型進化計算法の研究動向, 人工知能学会誌, Vol.13, No.5, p.692-703, (1998).
- 4) D.E.Goldberg, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learnig, (1989).
- 5) 高木英行, 畝見達夫, 寺野隆雄, インタラクティブ進化計算, 遺伝的アルゴリズム4, (産業図書, 東京, 2000), p.325-361.
- 6) Hideyuki Takagi, Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, Proceedings of IEEE, (2001).
- 7) 青木研, 高木英行, 対話型GAによる3次元CGライティングデザイン支援, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-2, No.7, p.1601-1608, (1998).
- 8) 三木光範, 織田博子, 菅原麻衣子, 和氣早苗, 森下千春, 廣安知之, 対話型遺伝的アルゴリズムを用いたサイン音系列生成システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, p.243-251, (2008).
- 9) 山中俊夫, 色彩学の基礎, (文化書房博文社, 東京, 1997), p.227-244.
- 10) 赤平覚三(著), 財団法人日本色彩研究所(編), デジタル色彩マニュアル, (株式会社クレオ, 東京, 2004).
- 11) Eshleman,L.J and Schaffer,J.D, Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata, Foundations of Genetic Algorithms, Vol.2, p.187-202, (1993).

カラー図 (再録)

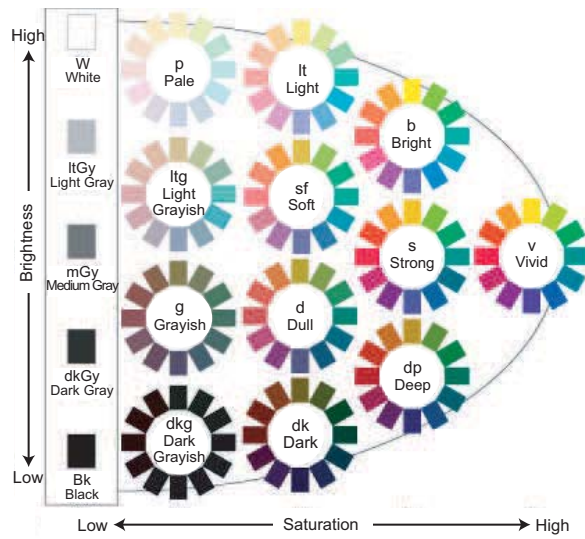


Fig. 3. Tone of PCCS.

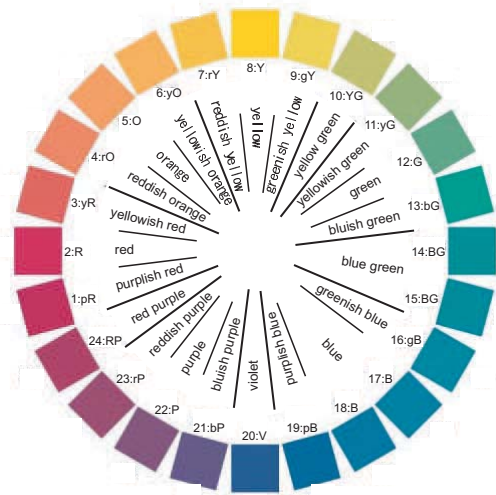


Fig. 4. Hue circle of PCCS.

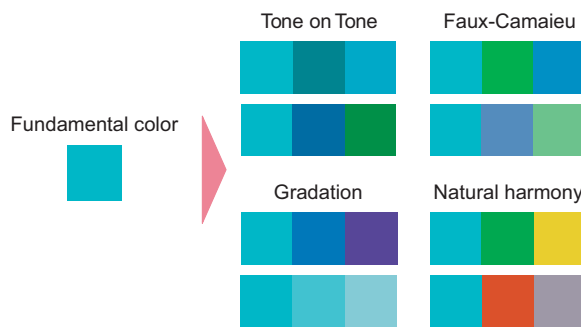


Fig. 5. Example of color combination.

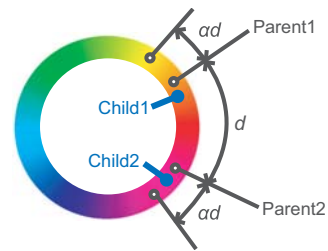


Fig. 7. Crossover for hue.



Fig. 6. Method of generating initial individuals based on color the harmony theory.